姜玉平◎著

钱学森与技术科学

上海人民出版社

上架建议：人物

ISBN 978-7-208-11937-6

9 787208 119376

定价: 68.00元

易文网: www.ewen.co

钱学森与技术科学

姜玉平◎著

上海人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

钱学森与技术科学/姜玉平著.—上海：上海人民出版社，2015

ISBN 978-7-208-11937-6

Ⅰ.①钱… Ⅱ.①姜… Ⅲ.①技术史-思想史-研究-中国 Ⅳ.①N092

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第278494号

责任编辑 鲍 静

美术编辑 陈 酌

钱学森与技术科学

姜玉平 著

世 纪 出 版 集 团

上海人民出版社出版

(200001 上海福建中路193号 www.ewen.co)

世纪出版集团发行中心发行 上海商务联西印刷有限公司印刷

开本787×1092 1/16 印张22.75 插页2 字数413,000

2015年1月第1版 2015年1月第1次印刷

ISBN 978-7-208-11937-6/N·11

定价 68.00元

序

技术科学的兴起、发展和繁荣是20世纪世界科学技术史上的大事，它让科学技术进入了一个新的阶段，并深刻地影响和塑造着人类活动的方方面面。

技术科学的孕育和诞生，经历了一个漫长的过程。一般认为，它的直接源头应追溯到19世纪末20世纪初的德国哥廷根大学。当时，数学家克莱因致力于推动理论科学应用于工程技术的改进，使科学与工程结合发生了质的变化。在克莱因、普朗特的领导下，源于经典力学但一改其传统风格、直接服务于工程技术的应用力学迅速兴起，成为技术科学领域早期的代表性学科，还形成了具有世界影响的哥廷根应用力学学派。与此同时，电气、化工等其他工程技术领域的科学与工程结合也逐渐发展起来。随着科学与工程结合趋势不断深入和扩展，世界工程技术发生了革命性变化。尤其是，二战期间导弹、高速飞机、雷达、核武器等重要武器或装备的发明和使用，从根本上改变了人类生产与战争的面貌。这些重大发明与以前的发明创造明显不一样，它们不是依靠工程实践积累和经验判断设计出来的，而是需要数学、力学、物理学等理论科学作为设计依据，是科学家与工程师密切合作的产物。钱学森敏锐地觉察到并抓住这个发展趋势，在1947年提出“技术科学”(engineering sciences)的概念，指出它是自然科学与工程技术结合的产物，是二者之间的桥梁，属于一个新的科学研究领域，由此形成了关于技术科学的完整观点。1955年10月钱学森回国后，大力介绍和传播技术科学思想。他与同属应用力学学派传人的郭永怀、钱伟长等力学家一起，参与制定国家科学发展规划，筹建技术科学人才培养与研究机构。并且，他们根据国民经济和国防建设的需求安排技术科学研究任务，还在与“两弹一星”工程有关的关键技术攻关过程中采用技术科学研究与组织管理的方法，既成功地突破了许多重大关键技术，又有力地推动了技术科学新兴学科的发展，为后来的持续发展奠定了坚实的基础。

对于这段十分重要的历史，学术界已从多个角度做过一些研究，然而迄今尚无一部探讨技术科学产生、成长及其在中国建立和发展的专门著作，这种状况与技术科学对中国科学技术发展的突出贡献相比是极不相称的。由于种种原因，近年来人们对技术科学的热情有所减退，认知程度也有所下降，研究者日渐稀少。这些现象表明，急需推进中国技术科学发展史的研究。上海交通大学青年学者姜玉平撰写的《钱学森与技术科学》这部力作，恰好适应了这种需要。作者以总揽技术科学发展史的眼光，以坚实的史实和实证研究为基础，呈现出技术科学产生、成长及其在中国建立与发展的历史图景。全书从宏观上勾勒出技术科学兴起和繁荣的历史进程，发掘出技术科学思想的丰富内涵；仔细发掘梳理了钱学森的学术成长经历，展现出钱学森继承发展应用力学学派学术思想、总结提炼技术科学思想的过程与成就；深入分析讨论了技术科学与新中国国家需要、计划体制结合等方面的问题，特别是钱学森等人如何根据国家科研总体布局筹建教研机构，建立起比较健全的技术科学体系，以及在变幻无常的政治环境下及时调整工作方向、巧妙地安排研究任务等方面的活动。在这些实证研究的基础上，作者还探讨了技术科学在中国建立和发展的机制，指出作用于技术科学成长的因素是多方面的，充满着曲折和乱象。这些研究还原了历史的本来面目，总结了成败得失和经验教训，对于弘扬中国科技的优良传统、避免重蹈覆辙，也不失其现实意义。全书体大思精，自成一格，是关于技术科学史不可多得的佳作，它的推出无疑是对中国技术科学史研究的一项重要贡献。当然，本书也有不足之处，如对技术科学价值与功能的分析还不够深入，对力学所在 1960 年代开展的一些研究工作也写得不够到位。钱学森的技术科学思想是 1930—1940 年代在美国形成的，如对这一时期美国技术科学兴盛的情况做一些必要的研究，本书则会更加精彩。

作为一名老技术科学工作者，我翻阅书稿，回顾前程往事，不禁感慨万千，借此机会再谈几点感想。

其一，技术科学是一门科学，也是一种观点、一种文化。我国国民经济和国防建设的长足进步与技术科学的发展有着极其密切的关系。然而，科学界、政府和民众对技术科学的性质、作用并没有充分的认识。对于什么是技术科学，究竟有没有技术科学、技术科学教育，有关发展技术科学的政策，技术科学的组织与管理有什么特殊性，等等，认识都很模糊。所以，在组织和执行有国家目标的研究项目时，往往达不到预期的目的。国际上的经验，我国科技界和有关部门对"两弹一星"研制期间取得的技术科学方面的经验，并未被很好地继承下来。从政府制定政策角度来看，对于技术或应用科学研究，哪些应该支持，如何支持，如何组织，如何评价，认识也相当模糊，而且缺少政策方面的一贯性。在科技界内部，一个极端是按基础科

学的标准来规划和指导技术科学，以组织基础研究的传统方式组织技术科学研究，贡献相形见绌。另一个极端则是把技术科学研究当作工程和生产问题，干脆把研究工作撂在一旁，导致产品长年不能过关，引进、落后、再引进，在某些领域几乎成为打不破的恶性循环。在理工科教育方面，我们还没有完全从1950年代理工分家的影响中解脱出来，培养出来的学生搞研究的多数不重视应用，一个课题可以一搞十年、几十年不见应用。这些现象很值得我们深思。如果多一点技术科学思想作指导，多一种应用的观点，效果会不会好些？

因为，准确认识技术科学的基本观点，有利于深入认识技术科学的性质、功能及其与基础科学、工程技术和其他应用之间的关系。了解这些观点，在政策制定和科研管理方面，既有利于全面规划，也有利于营造发展技术科学的环境，包括评价体系的制定和完善，研究机构的学科定向和运行方式。在理工科教育方面，让学生及早了解技术科学及其特点也是很有益处的，有利于他们开阔视野，更准确地选择自己的发展方向。

其二，技术科学提供了一种研究问题的重要思想方法。技术科学研究把自然科学所得到的规律用于解决工程技术问题，是一种创造性劳动。这个创造性过程包括现场考察与基本现象和数据的收集，实验室和现场实验或试验；应用自然科学原理，进行去伪存真，去粗取精，由表及里地深入分析，抽象出数学模型；应用和发展必需的数学工具，发展数值计算方法；把所得计算结果与工程实际相对照，以决定对理论和模型的取舍，最后用于解决工程应用中所需要解决的问题。对于一个复杂的工程技术问题，这个过程往往需要多次反复，所得结果往往带有某种近似，但有应用价值。这时才能说对这个工程应用问题有了科学的认识，提供给工程师的结果是真正有用的。可见，技术科学提供了一种提出问题、分析问题、解决问题的思想方法，它与基础科学没有本质上的差别，而且非常强调坚实的科学知识、追求创新的意识以及强烈的应用观点。当前，浮躁功利的社会环境已影响到科技界，导致编造数据、玩数字游戏，甚至抄袭等违反科学精神的现象屡见不鲜。因此，大力提倡理论与实践结合、注重创造性劳动的技术科学工作方法，无疑对重建求实创新的学风具有重要的现实意义。

其三，必须认真研究、大力发展技术科学。1947年，钱学森指出："研究工作现在是现代工业整体中的一个组成部分，不提到研究工作就谈不上现代工业。既然工业是国家富强的基础，技术和科学研究就是国家富强的关键"。自那以来将近70年的历史充分证明，技术科学对一个国家经济与国防建设以及科学本身的发展具有十分重要的作用。技术科学把开辟新兴的技术领域以创造和带动新技术的发展作为中心目标，在基础研究方面它同纯粹基础研究的差别，有时仅仅是在观点方

面，在应用研究方面它同工程、生产、市场有着密不可分的联系。特别是，技术科学因其桥梁作用在实现国家目标方面扮演着不可或缺的角色。因此，需要进一步加深对技术科学的认识，认真研究并大力发展技术科学，以期能在较短的时期内在关键科技领域赶超世界先进水平。

本书即将付梓面世，我由衷地感到高兴，谨此推荐，特地写几点感想，以作新书之序。

郑哲敏

2013 年 12 月 27 日于力学研究所

目 录

绪　论

第一节　一个令人瞩目的科学领域——技术科学

科学是人类认识自然现象及其变化规律的系统知识的总和，技术是人类关于制造和操作的系统知识和技艺的总和。因此，科学家以发现或揭示自然界的新现象和新规律为奋斗目标，以为人类增添关于自然界的知识而得到社会的认同。工程师以设计创造新的物件为奋斗目标，以增加人类的福利而受到社会的尊敬。无论科学活动还是技术活动，都属于创造性劳动。创新是科学家最重要的气质，讲究发现或创造的优先权是科学与技术界的基本规范。所以，人们习惯于将重大科学发现、科学定理或公式与它的发现者相提并论，而重要的技术或发明也常常与它的发明者一起为人们代代传颂。换言之，取得重要发现的科学家与做出重大发明的发明家，比较容易获得社会的承认，并与他们的发现或发明一道名垂青史。如科学史著作大多为描述或记载重要的科学发现，而技术史著作也多为重要技术或发明的谱录。然而，在基础科学与工程技术之间的领域作出贡献的科学家，不大容易引起人们的注意和兴趣。毫不夸张地说，与科学家、发明家（工程师）相比，在这个领域工作的科学家做出的成就及其对人类社会的贡献一点都不逊色，甚至有过之而无不及。尽管我们在日常生活中不断享受他们创造的伟大成果，但是现有的科学史文献对他们的研究显得远远不够，他们没有得到应有的荣誉，几乎成了科学史家笔下的“弱势群体”。这个“弱势群体”就是技术科学家（工程科学家）群体，他们的研究对象是基础科学与工程技术的中间地带——技术科学（或曰工程科学）。按照工程科学的首创者之一、1963 年工程科学学会的筹建人爱瑞金（A.C.Eringen）的定义，工程科学是“将物理学、数学、化学与生物学，应用于求解工程学问题”。它本

质上是数学性质的，是把数学的准确性和工程学问题的现象熔合在一起。[①]技术科学诞生于19世纪末20世纪初，距今仅有100多年的历史，比自然科学、工程技术的发展历史要短得多。

在人类生产发展史上的大部分时间里，生产活动主要依靠人们的经验。即使近代科学革命爆发以后，科学与技术的发展仍旧是分道扬镳的，在相当长的时间内工程技术进步较少依赖科学理论的指导。到了18世纪末，这种分离的局面始有改观，此时产生了以蒸汽动力技术为代表的第一次技术革命。牛顿力学体系建立之后，近代科学在许多领域取得了蓬勃发展，主要表现在理论力学、热力学和各种力学应用方面。另一方面，表现在机械、蒸汽机和机床等工具的发明和应用上，因为这些机械和动力装置的发明和设计，都需要运用牛顿力学进行思考和计算。到了1830年代，机床、火车、轮船等都已发明，进入机器大生产时期，完成了著名的英国工业革命。大概在18世纪中期以后，法国的工程师培训学校开始引入基础科学的训练，这使土木、机械、采矿、冶金等工程技术从基础科学中受益匪浅，得到了迅速发展。虽然工程技术界已发现应用科学理论的重要价值，不过这个时期基础科学与工程技术的合作还是比较初级的，处于应用科学理论一般原理进行指导的层次。当时的科学界将主要精力放在追求理论的严谨性上面，不大重视理论的工程应用。

随着基础科学迅猛发展，理论积累越来越丰富，与此同时，工程技术也取得了长足进步。如果仅仅依靠生产经验和初级的科学理论，工程技术无法取得更高层次的发展。于是，基础科学与工程技术在19世纪末开始密切结合。当时，以电力技术的突破和发展为中心的第二次工业革命风起云涌，电动机和发电机等电机工程技术发展非常迅速。这些工程技术与以往的工程技术大为不同，必须以科学理论为基础，这样作为基础物理学的电磁学与作为工程技术的电机工程开始密切合作。随着基础科学与工程技术的深度结合，产生了应用力学、电工学、化学工程学等新兴学科，由此促进了航空、电力、化工等新兴产业的成长。这类新知识有别于经典力学、电磁学等基础科学，也不同于机械设计、电力工程、化工等工程技术，而属于一类新生的科学技术知识，即技术科学。

20世纪初期，以相对论、量子力学为代表的近代物理学建立为标志，爆发了第二次科学革命。相对论、量子力学等理论科学的诞生，颠覆了力学、电学、磁学、光学、热力学以及其他经典物理学对物质世界的传统看法，极大地丰富了人类对物质世界的认识和了解，在此基础上建立了许多新的科学知识。1930年代后期，由于战争的刺激，美、英、德等国组织大量科学家研究原子武器、雷达和导弹，使基础科

① [英]O.A.拜格：《当代世界领先的工程科学大师们》，康振黄译，四川科学技术出版社2008年版。

学的重要发现迅速应用到工程技术领域，形成了核技术、电子学、喷气推进等新的技术科学。这些技术科学的诞生，使拥有强大技术科学实力的国家成为世界上最强大的国家，改变了国际力量的对比和平衡，也使技术科学的地位大大提升，成为科学技术领域的热点。二战后，控制论、信息论、固体物理学等技术科学纷纷诞生，催生了以微电子和信息技术为代表的第三次技术革命。以 1946 年电子计算机的发明为标志，1947 年晶体管的发明以及后来集成电路的出现，推动这次技术革命蓬勃发展，至今方兴未艾。由于"冷战"核军备竞赛以及外太空探索的刺激，空间科学等新的技术科学迅速成长，使人类步入核能时代、太空时代。以 1957 年苏联"卫星 1 号"人造地球卫星成功上天、1961 年宇航员加加林乘坐"东方号"(Vostok)载人飞船进入太空和 1969 年美国宇航员阿姆斯特朗成功登陆月球为标志，人类开辟了太空时代的新纪元，使此前科幻小说中的遨游太空想象一一变成现实，将人类科学技术事业推向巅峰。

迄今为止，人类历史上已经发生两次科学革命、三次技术革命和产业革命。新的科学概念与理论的确立，往往导致新的科技知识体系的产生。技术革命是科学革命的成果即基础科学与工程技术结合而引发的，也可以说是"技术科学革命"。以往的技术史著作将技术革命视为工程技术的革命，实际上其中的核心是技术科学的巨大突破，由此建立起一套新的工程技术知识体系，以至于引发生产过程、产业结构的更新换代，最终导致生产行业的根本性变革。第一次科学革命以后，人类在很长时间之后才产生两次产业革命，而第二次科学革命爆发之后不久就迅速引发产业革命，就是基础科学与工程技术结合即技术科学的产生和突破而带来的结果。19 世纪后半叶，由于技术科学的产生，使基础科学成果迅速转化成工程技术，而 1950 年代以后又比 19 世纪后半叶通过技术科学在更广范围、以更快速度将基础科学转化为工程技术。科学与工程的结合不仅孕育了技术科学，开辟了现代科学技术的新领域，还改变了整个社会结构，甚至对人类文明也产生了深远影响。技术科学的诞生和发展，是 20 世纪世界科学技术界最令人瞩目的事情之一，吸引了许多科学家、工程师进入这一领域，使人类科学技术事业比以往更加精彩纷呈。

科学与工程结合而产生的技术科学，使基础科学转化为工程技术的时间大为缩短，这使人们更加清楚地认识到基础研究的重要性。1946 年，V.布什(Vannevar Bush)在直接导致美国国家自然科学基金会建立的著名报告《科学——没有止境的前沿》(*Science: The Endless Frontier*)中写道："基础研究导致新知识。它提供科学资本。它创造储备，知识的实际应用必须从中提取。新产品和新工艺过程显得很不成熟，它们是建立在新的原理和新观念之上的，而新原理和新观念本身又通

过最纯粹的科学领域里的研究而艰苦地发展着。”①这段强调基础研究重要地位的至理名言，至今仍令人钦佩不已。然而，它常常遭到人们的曲解，甚至断章取义地将应用需求强加给基础科学，要求基础科学研究结果迅速转变成生产力。笔者认为，曲解之所以形成，原因在于人们忽略了基础科学与工程技术结合而产生的技术科学的功能，以至于被20世纪中叶以来科学技术大突破、大发展的纷繁复杂现象所蒙蔽，常常将许多新技术、新产品问世的功劳加冕到基础科学头上，在制定科学政策时不恰当地赋予基础科学许多应用性要求，使基础研究活动偏离了“发现”的轨道。实际上，应用性需求与任务是基础科学无法承担的责任，揭示自然界深层次的奥秘是基础研究至高无上的目标，基础科学并不考虑应用的目的，也不能直接为工程技术发展提供具体的答案。实际上，是技术科学在科学与工程之间架起一座座通达的桥梁，将基础科学的研究结果转化为可以应用的工程理论，为工程设计和技术开发服务，成为工程技术创造的源泉。

早在1940年代中期，一位技术科学家就敏锐地觉察到技术科学方兴未艾之势，率先对技术科学进行系统总结和理论提炼，将其定位为与基础科学、工程技术并列的一类新知识。他说道：“纯科学家与从事实用工作的工程师之间密切合作的需要，产生了一个新的行业——工程研究家和工程科学家。他们成为纯粹科学和工程之间的桥梁。他们是将基础科学知识应用于工程问题的那些人。”“工程科学家在一些工程发展中成了核心力量，他们是工业新前沿的先锋。”“工程科学的真正本质是将基础科学原理转化为服务于人类福利事业的技术。”并且，还积极呼吁发展技术科学：“现在是号召工程科学家们朝着科学追求的目的的时候了。”他借用美国原子学专家尤瑞(Urey)的话说：“我们必须取消人类生活中的苦工，病痛，短缺，带给他们快乐、闲暇和美好。”②这位技术科学家就是菲利克斯·克莱因(Felix Christian Klein)、普朗特(L.Prandtl)开创的哥廷根应用力学学派嫡系传人、中国科学家——钱学森。

第二节　钱学森——技术科学思想的集大成者

技术科学的直接源头应追溯到19世纪末的德国哥廷根大学，这里是技术科学领域兴起最早并发展最为成熟的学科——应用力学的发源地。说起应用力学的发端，首先应说说当时世界的科学背景。近代科学革命爆发以后，尤其是牛顿经典力

① ［美］V.布什等：《科学——没有止境的前沿》，范岱年、解道华等译，商务印书馆2004年版，第64页。

② Hsue-Shen Tsien.Engineering and Engineering Sciences；王寿云编：《钱学森文集(Collected Works of H.S.Tsien，1938—1956)》，科学出版社1991年版，第550—563页。

学体系奠立之后，科学界对牛顿治学道路顶礼膜拜，纷纷投身理论力学和数学的研究，使英国成为数学和理论物理研究之邦，甚至出现畸形发展的状况。另一方面，英国科学家脱离产业革命的实际，对工程技术不屑一顾，好像工程技术不是科学，研究工程技术或科学理论应用于工程技术会降低科学的地位，造成蓬勃发展起来并席卷整个英国的产业革命只是工匠和手工业者活动的领地。这样一来，孤芳自赏的理论科学家不断受到来自工程技术领域大量急需解决的技术问题的冲击。不过，欧洲大陆却出现了另外一种局面，法国在大革命之后建立了资产阶级教育体系，迅速培养出一代应用科学家，使世界科学中心逐渐从英国转移到法国。随着欧洲产业革命的兴起，法国、德国兴起了应用科学研究。①英国科学家看不起应用科学，就没有去理论联系实际，倒是法国人首先倡导基础科学应用于工程技术，首开理工结合之先河。在此基础上，德国人将基础科学与工程技术更为密切地结合起来。19 世纪末 20 世纪初是现代科学革命的爆发时期，科学史界将 1895 年伦琴发现 X 射线视为现代科学革命的起点。十分巧合的是，科学与工程结合发生质变也出现在这个时间节点。哥廷根数学学派开创的应用力学是最先兴起和发展起来的技术科学学科，应用力学的形成及其学术思想与方法代表了近代技术科学发展的基本特点，具有典型性。

19 世纪末，以物理学为基础的近代科学大厦已经构筑封顶，许多科学家陶醉于已取得的辉煌成就并怀疑物理学还有什么值得研究的，甚至有人断言物理学已经终结。当时的德国，科学与工业蒸蒸日上，一日千里，而且许多优秀科学家正在思考更为长远的问题，哥廷根大学的数学家克莱因就是其中的一位。他积极倡导科学与工业结合，以让德国工业技术更为精良，产品更具竞争力，在国际竞争中占据更为有利的位置。他率先在哥廷根大学设立应用数学、应用力学、技术物理、电工学等研究所或教授席位，开展应用科学研究。这些研究所成为技术科学的摇篮，哥廷根大学也因之成为技术科学的发源地。其中，由普朗特主持的应用力学研究所成绩最为突出，影响最为深远。当时，力学已是一门成熟的物理学分支学科，在大量观察实验的基础上形成了一套完善的原理、定理、方程及其数学方法。但是，这些属于经典物理学知识体系的力学理论，仍然不能满意地解决许多工程技术问题。在这种情况下，普朗特把数学、经典力学与工程实践结合起来，重视从工程实践中提炼出具有普遍性的问题，加以科学的分析和研究，使得出的结论更具普遍性和预见性，从而为工程技术提供一般性的应用力学理论。此后，应用力学逐渐从物理学中分离出来，成为一门新兴的技术科学。这个时候，美国人莱特兄弟（Wright

① 阎康年：《科学革命与卡文迪什实验室》，山西教育出版社 2008 年版，第 20 页。

brothers)发明了飞机。由于实际经验和经典力学理论都不能直接提供设计飞机的知识与技术，必须开辟研究飞机外形的空气动力学等流体力学以及研究飞机结构的固体力学等新兴科学领域。这样，在普朗特的周围逐渐聚集一大批来自欧洲各地的青年才俊，形成了以普朗特为中心的应用力学学派。冯·卡门(Theodore von Karman)是其中的一位佼佼者，他不仅将克莱因的学术思想发扬光大，“以填平理论科学和应用技术之间的鸿沟为己任”，将擅长理论研究的优势发挥得淋漓尽致，取得了许多突出成就，还将哥廷根学派的学风移植到北美，在加州理工学院平地起高楼，建立起一个新兴的应用力学研究中心。当时，航空工业在南加州刚刚起步，对应用力学产生了强烈的需求。在冯·卡门的领导下，加州理工学院聚集了一批来自世界各地的青年才俊。他们围绕航空、喷气推进等领域的力学问题进行全方面的探索，开展了大量艰苦的研究工作，奠定了喷气技术的基础，为人类突破声障、热障等壁垒，实现超声速飞行、迈向太空作出了十分重要的贡献。

在钱学森1936年迈入应用力学之际，这个领域正处于突破与革命的前夜。当时，飞机正由亚声速进入超声速时代，由于飞机速度越来越快，产生了声障等瓶颈问题。这个领域迫切需要一次理论上的革命，从理论上分析其中的原因，并找到在工程上进行突破的方法，让飞机实现超声速飞行。在冯·卡门的指导下，钱学森深刻领悟应用力学学派的思想精髓，以卓越的创造力成为这个团队中十分活跃的一员。他与同事们合作，在固体力学、流体力学、气动力学等方向上势如破竹，取得了许多重要成就，还参与喷气推进等新兴领域的开疆拓土。另外，他还关注二战中兴起的核能、雷达技术，发现这些方兴未艾的新技术与应用力学有着非常相似的形成过程，也是基础科学与工程技术密切结合的产物。于是，钱学森对19世纪末以后的科学技术发展史进行了系统考察和理论概括，对前人成功的或不成功的案例进行了分析总结，从中概括提炼出带有普遍意义的思想，提出在基础科学和工程技术之间存在着一类新的知识——技术科学，第一次赋予技术科学与基础科学、工程技术同等的地位，从本体论上改变了人们的自然观和科学观，成为标识20世纪科技思想的重要坐标。特别是，他系统论述了技术科学的研究内容、任务及研究方法，归纳出技术科学的研究范式。古语云，鸳鸯绣出从君看，莫把金针度与人。与此相反，深受现代科学精神洗礼的钱学森信奉科学公有主义，积极传播技术科学思想与方法。法国数学家欧拉曾说过：“一个科学家如果单是做出了给科学宝库增加财富的发现，而不能阐明那些引导他做出发现的思想，那么他就没有给科学做出足够的工作。”①在技术科学领域，钱学森不仅“做出了给科学宝库增加财富的发现”，而且

① 李心灿：《微积分的创立者及其先驱》(第三版)，高等教育出版社2007年版，第171页。

“阐明那些引导他做出发现的思想”，也就是不仅绣出了“鸳鸯”，而且毫无保留地亮出了“金针”。

“技术科学”是钱学森从学科高度提出的新概念，它把应用力学等技术科学学科作为学科群对待，不断推进对技术科学的综合研究，加快科学与工程的结合，为新型工业的发展开辟方向。此后，钱学森以技术科学思想指导自己的学术研究，积极倡导以技术科学观点观察工程技术问题，并将其思想方法推广到其他工程领域，建立了“工程控制论”和“物理力学”这两门新的技术科学。就自己涉足过的学科领域，钱学森在一张亲手绘制的表格上这样写道：1932 年铁路机械工程，1934 年航空工程，1936 年流体力学、气动力学，1939 年弹性薄壳理论，1942 年火箭技术，1946 年核动力理论，1949 年航天工程，1950 年工程控制论，1954 年物理力学，1956 年运筹学、系统工程，1978 年系统科学。从表面上看，这些学科专业之间没有什么必然的联系。如果仔细加以观察，就会发现有一条“暗线”贯穿其中，这就是技术科学思想。这些学科领域的具体内容虽然不同，但研究它们的观点、方法是相通的。晚年在信件中与他人回顾自己的学术心路历程时，钱学森说道：“30 年代中期到美国 MIT 及 CIT 学习，MIT 重在工，而 CIT 则强调理工结合。我在 CIT 选修了不少理科课程，如微分几何、复变函数论、量子力学、广义相对论、统计力学等。博士论文也是用数理理论解决工程技术问题。后来十几年在 MIT 及 CIT 教学做研究，从薄壳理论、气动力学、火箭技术到工程控制论、物理力学等，也都是理工结合，用‘理’去解决‘工’中出现的新问题。”“50 年代中叶回归祖国，也是搞理工结合的国防尖端技术共 20 多年。”①与他的导师冯·卡门从工程技术进入技术科学的学术路径相似，钱学森也是从工程技术进入技术科学领域的，这使他不仅储备了丰富的工程实际经验，而且在研究生阶段奠定了宽厚的自然科学基础。这些知识储备与经历使他深刻领会到技术科学思想与方法的真谛，让他能自由涉足多个工程领域，且都有所建树，甚至可以根据工程发展的需要开辟出新的技术科学领域。

1949 年 10 月，新中国成立。漫卷诗书喜欲狂，钱学森欣然束装归国。1955 年 10 月，冲破阻挠、历经艰辛的钱学森跨过深圳罗湖桥，回到祖国。当时的国内，科学和教育界对技术科学还是非常陌生的。出于对振兴祖国科学技术事业的强烈责任感，钱学森积极利用各种机会、场合与形式介绍技术科学思想，发表演讲，撰写文章，希望以发展技术科学来改造和提升中国的工业。1957 年 4 月，钱学森在《科学通报》发表宏文“论技术科学”②，算得上他对技术科学思想的系统总结，涵括 1947

---

① 钱学森：《致钱学敏的信（1994 年 2 月 7 日）》，载《钱学森书信集》(8)，国防工业出版社 2007 年版，第 58—61 页。

② 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》1957 年第 4 期。

年以后10年时间里关于技术科学思想研究的精华，奠定了技术科学的基本范式，也道出了他在中国推进技术科学发展的基本理念。

在加州理工学院做研究生时，钱学森受到马克思主义的影响，属于左翼科学家群体，相信"科学的计划化"。而技术科学的学术旨趣又使他对计划科学体制产生好感，这与新中国实行的集中式科学体制正好合拍。回国后不久，钱学森参与"1956—1967年科学技术发展远景规划"的制定工作，并担任科学规划综合组组长。按照"迎头赶上"的方针以及"以任务带学科"的原则，钱学森创造性地将技术科学思想与国家重大需求结合起来，与其他科学家一道制定出既符合现代科技发展潮流又符合国情的科学规划，为新中国科技事业描绘出一幅绚丽的蓝图，展现出战略科学家的胆略和智慧，让人称羡不已。

此后，作为科学家的钱学森迅速实现角色转换，成为一位出色的科技事业领导者和推动者。在国家和政府的支持下，他结合国家需要，逐步将发展技术科学的设想付诸实施。1956年1月中国科学院力学研究所成立，钱学森担任首任所长。他按照技术科学思想规划力学所的研究方向，迅速建立物理力学、运筹学、化学流体力学等体现现代科学技术潮流的技术科学研究组织，还按技术科学思想安排研究工作，使力学所迅速成为在国际上很有影响的技术科学重镇。1957年2月，在钱学森、钱伟长等人的提议和组织下，国家在清华大学创办工程力学研究班和自动化进修班。这两个班培育出大批应用力学、自动化等方面的技术科学人才，为国防尖端技术发展和高校大规模开办技术科学专业输送了优秀人才和师资。1958年9月，钱学森主持创办了中国科技大学力学和力学工程系，并以技术科学思想设计力学系的课程与教学方案。另外，钱学森和其他力学家一起，努力团结、聚集全国力学以及相关学科的同行，发起成立中国第一个技术科学学术共同体——中国力学学会。这些工作为中国技术科学教学与研究事业作出了奠基性贡献，大大推进了技术科学在中国的制度化进程，为以"两弹一星"为代表的尖端技术突破奠定了基础。因此，钱学森与周培源、钱伟长、郭永怀一起被誉为我国近代力学的四大奠基人。1958年以后，钱学森主要精力转移到导弹和航天领域。在组织领导导弹、火箭等航天科技事业过程中，他坚持按照技术科学思想安排科研任务，将技术科学研究与型号产品研制结合起来，不断提升自主创新能力，使我国航天科技事业较快地实现了独立自主的发展，成为新中国科技事业中最有成绩和特色的领域之一。即使在主持航天科技事业十分繁忙的关键时期，钱学森仍利用一切可以利用的机会支持和推动技术科学的发展。例如，他在力学所物理力学研究室组织每周一次的学术讨论会，激发大家的研究热情；组织举办高超声速讨论班和星际航行座谈会，推动相关学科学术研究活动的开展；如此等等。

总之，钱学森科学生涯中的大部分时间与技术科学紧紧联系在一起，使应用力

学等技术科学成为中国现代科学技术体系中的功勋学科，对我国科技整体水准的提升居功至伟，以至于被誉为技术科学领域的一代宗师。

第三节　本书的研究旨趣与目标

一位科学家对于人类的贡献，不仅在于他做出什么样的成果，还在于他对科学研究模式和方法的创新。钱学森是一位集技术科学家、科学事业家、科学教育家、科学学家于一身的科学大师。其中，技术科学是其科学工作中最为重要的部分。钱学森对技术科学的贡献是非常全面的，从应用力学、喷气推进、工程控制论、物理力学到技术科学思想研究，从开创新学科，组建研究机构，培训研究人员以及将技术科学思想贯彻到导弹、火箭和卫星等航天产品的研制之中，一直到建立技术科学研究工作组织管理的系统工程等，可谓前无古人。

现有关于钱学森的研究工作，大多集中在钱学森的传记研究、钱学森与近代力学、钱学森与中国航天科技事业、钱学森晚年的学术思想以及他的科学精神与风范等方面，对钱学森毕生探索并大力倡导的技术科学思想的研究比较欠缺。何谓技术科学？技术科学是怎样产生的？技术科学的研究方法与目标是什么？作为技术科学家的钱学森，取得了哪些突出的成就？他对技术科学思想的形成和发展有哪些重要贡献？他从哪些方面推动技术科学在中国植根和成长？技术科学是如何适合中国实际的？技术科学体系在中国的建立对中国科学技术事业的影响如何？如此等等。据笔者目之所及，先后有王寿云、朱兆祥、郑哲敏、吴承康、谈庆明、洪友士以及美国科学家弗兰克·马勃等人就钱学森的技术科学思想发表过一些研究或回忆文章。①另外，2012 年科学出版社为纪念钱学森诞辰 100 周年出版过两本纪念文集，②其中有多篇

---

① 郑哲敏：《学习钱学森先生技术科学思想的体会》，载庄逢甘、郑哲敏主编：《钱学森技术科学思想与力学》，国防工业出版社 2001 年版，第 1—7 页；郑哲敏：《钱学森的技术科学思想》，载宋健主编：《钱学森科学贡献暨学术思想研讨会论文集》，中国科学技术出版社 2001 年版，第 27—33 页；吴承康：《国家目标与技术科学——钱学森的力学研究所建所思想》，载庄逢甘、郑哲敏主编：《钱学森技术科学思想与力学》，国防工业出版社 2001 年版，第 46—52 页；朱兆祥：《钱学森先生在力学所初建的日子里》，《力学进展》2006 年第 1 期；郑哲敏：《钱学森的技术科学思想与力学所的建设和发展》，《力学进展》2006 年第 1 期；MARBLE Frank E.:《钱学森在加州理工学院——他对科学、技术和教育的影响》，载宋健主编：《钱学森科学贡献暨学术思想研讨会论文集》，中国科学技术出版社 2001 年版，第 10—26 页；MARBLE Frank E.：《力学研究所成立五十周年感言》，王克仁译：《力学进展》2006 年第 1 期；洪友士：《力学研究所五十年》，《力学进展》2006 年第 1 期；王寿云：《钱学森》，载《科学家传记大辞典》编辑组：《中国现代科学家传记》(第一集)，科学出版社 1994 年版，第 767—802 页。

② 中国科学院院士工作局编：《钱学森先生诞辰 100 周年纪念文集》，科学出版社 2012 年版；李家春、樊菁主编：《钱学森——在创建力学所的日子里》，科学出版社 2011 年版。

文章涉及这些问题。这些具有重要意义的文献为我们研究钱学森技术科学思想提供了第一手的史料和线索。不过，它们重在回顾史实，对技术科学思想的研究与发掘尚显不足，对钱学森在推动技术科学在中国建立和发展过程中的所作所为也往往语焉不详。从研究角度来看，缺乏系统严格的史学分析，研究范围也不够宽广，尤其是较少考虑社会环境的影响，另外还有一些深层次问题亦未做过探讨。总体上看来，目前的发掘和研究还不够深入系统，未能全面反映钱学森对技术科学特别是对推动中国技术科学发展的曲折历程和重要贡献，以及值得借鉴和反思的经验与教训。

随着人们对钱学森认识不断深入，产生了要求深化钱学森学术思想研究的需求。而发掘整理钱学森学术思想是科学界、科学史界义不容辞、责无旁贷的责任。钱学森学术思想博大精深，技术科学思想是其中的精华，如果把他的技术科学思想发掘整理清楚，也就能帮助人们在更高更深的层次上认识钱学森。带着这个想法，本书以“钱学森与技术科学”为主题，以钱学森技术科学思想的产生、发展及其在中国的传播和实践为主线，从宏观上勾勒近代技术科学兴起和繁荣的历史画卷，在此基础上深入研究和发掘钱学森对技术科学发展的贡献，钱学森技术科学思想的内涵，钱学森对技术科学在中国建立和发展的贡献等问题。除“绪论”外，全书内容共十章：第一章“哥廷根数学学派与应用力学的兴起”，第二章“钱学森的技术科学之路”，第三章“钱学森对技术科学思想的提炼和发展”，第四章“技术科学思想与十二年科学规划”，第五章“创建技术科学研究机构——以力学研究所为中心”，第六章“建设技术科学人才培养体系”，第七章“建立技术科学学术共同体——以中国力学学会为中心”，第八章“‘大跃进’运动中的技术科学——以力学研究所为中心”，第九章“技术科学研究工作的进展与突破——以力学研究所为中心”，第十章“余论”。另外，通过这些研究，一方面探讨技术科学在中国社会成长的机制，另一方面，发掘钱学森取得杰出成就的学术思想和方法论，为今天的科学工作者提供参考和借鉴。

史学家陈寅恪在陈垣《〈敦煌劫余录〉序》中说：“一时代之学术，必有其新材料与新问题。取用此材料，以研求问题，则为此时代之学术新潮流。治学之士，得预于此潮流者，谓之预流（借用佛教初果之名）。其未得预者，谓之未入流。此古今学术史之通义，非彼闭门造车之徒，所能同喻者也。”成熟的学术研究，应当建立在较为完备的史料基础上，否则很难拓展研究的深度与广度。近些年来，《钱学森手稿》、《钱学森书信》、《钱学森书信补篇》、《钱学森文集》（1938—1956 海外学术文献，中文版）、《钱学森文集》（1—6 卷）等原始资料①以及当事人回忆录等文献大量

① 钱学森：《钱学森手稿》，山西教育出版社 2001 年版；涂元季主编：《钱学森书信》（1—10 卷），国防工业出版社 2007 年版；李明、顾吉环、涂元季编：《钱学森书信补篇》（1—5 卷），国防工业出版社 2012 年版；李佩主编：《钱学森文集》（1938—1956 海外学术文献，中文版），上海交通大学出版社 2011 年版；顾吉环、李明、涂元季编：《钱学森文集》（1—6 卷），国防工业出版社 2012 年版。

公开出版，为本书的研究提供了史料上的方便。本书的研究尽量立足于原始资料，一是依据钱学森书信、手稿等档案资料，二是依据当时的期刊、报纸等历史文献。这样做，一是力求在史料运用上有所突破，二是可以最大限度地重建信史。由于许多涉及国防科研项目的档案资料尚未开放，本书的重点放在中科院力学所等非国防科研机构。本书力求从大处着眼，细处着笔，更多的是布列背景，考证重建史实，论从史出，使读者清楚地了解当时的历史背景，而非一味地抒发个人感情。

历史是人创造的，但是前人创造的历史若不通过文本的记载，就无法成为进入记忆的“历史”。文以载道，本书研究的最大目的就在于展现一个优秀知识分子创造的历史，展现作为技术科学家的钱学森。钱学森对技术科学发展的贡献是全面而深刻的，他的技术科学思想博大精深，对其进行研究是一项极具挑战性的任务。一是笔者绠短汲深，二是囿于条件所限，笔者只能对钱学森技术科学工作的部分内容进行发掘整理，也就是说本书只是描绘其中的主线，对钱学森技术科学思想及其在中国的传播和实践做一隔靴搔痒式的勾勒，无法做到应有尽有，无一遗漏。其余的方面，期待更多的后续研究来解决。

钱学森的科学与工作经历，在某种程度上称得上是中国近代科学技术与社会演进的一面镜子，代表了爱国知识分子推动民族复兴和社会进步的人生道路，凝集着他们为实现民族复兴、国家现代化和人民幸福的思考与追求。如果读者阅读本书，认识到钱学森不仅是杰出的科学家、中国航天科技事业奠基人，还是一位具有远见卓识的科技术事业组织者和领路人，从整体上推进中国现代科学技术事业振兴的战略科学家，对中国社会甚至人类文明产生显著影响的科学大师。另一方面，诚如数学大师希尔伯特所说：“一个伟大时代的结束，不仅促使我们追溯过去，而且把我们的思想引向那未知的将来”，[①]让读者看到一代爱国知识分子上下求索的心路历程和为国为民的崇高品德，激发出增进民生福祉和推动民族复兴的热情和思想动力。如果这样，笔者写作本书的初衷就达到了，至少也算聊胜于无吧。

① ［德］希尔伯特：《数学问题》，李文林、袁向东编译，大连理工大学出版社 2009 年版，第 37—38 页。

第一章　哥廷根数学学派与应用力学的兴起

应用力学或曰近代力学是技术科学领域率先兴起并发展成熟的学科，它的兴起、发展和建制化过程堪称技术科学兴起、发展与繁荣的缩影。20 世纪初，在克莱因的倡导和推动下，哥廷根大学在世界上率先设立应用力学讲座教授，建立应用力学的研究范式，培育出大批优秀的应用力学家，形成了应用力学学派。随着这些应用力学家散布五洲四海，哥廷根应用力学学派的学术思想得到进一步发扬光大，让应用力学发展成为一门具有战略意义的“显学”，并开创出喷气推进、高超声速空气动力学、物理力学、工程控制论、燃烧学等新的技术科学，引导世界工程技术走向巅峰，为人类科技和工业发展作出了不可或缺的贡献。随着以应用力学为代表的技术科学蔚为大观，哥廷根应用力学学派在世界范围内赢得了崇高的科学声誉。应用力学学派的重要代表人物钱学森不仅在技术科学领域成就卓著，还将应用力学学派的学术思想加以深化和拓展，提升为技术科学思想。要深入理解和认识技术科学思想，对应用力学学派以及技术科学的先驱学科——应用力学的起源与早期发展情况作一钩沉，是非常必要的。

第一节　应用力学兴起之时的国际学术背景

近代科学发轫之初，科学与技术并无明显分工。随着科学和技术发展日益精深，理论研究与实际应用开始分离，逐渐在科学和技术之间形成了一道鸿沟。如近代科学革命产生于 17 世纪，而第一次工业革命迟至 18 世纪末才爆发，科学的突破领先技术的突破 100 多年，况且蒸汽机的发明和改进并没有从热力学理论那里得到多少直

接的指导。随着基础科学向纵深发展，实际工程也逐渐复杂化，科学与工程继续分道扬镳。基础科学脱离实际工程，主要从内部提出问题并开展纯理论上的研究，而工程技术的发展主要依靠实践经验的积累，较少采用基础科学的成果。为什么会出现这种缺乏互动和交流的局面呢？这是因为，当时的基础科学还不够完善和成熟，许多理论成果无法直接应用到实际工程。当时，科学家也讨论过一些由实际引发的理论问题，不过他们的主要动机是从科学爱好出发，而不是为了解决实际工程中的技术难题。这个时期，虽然也有工程师运用科学理论指导工程设计，但理论运用的水平尚处于比较低的层次。直到 19 世纪后期，科学与工程分离的状况才有所改观，基础科学成果开始大规模应用到实际工程领域，科学方法也应用于各种实际问题的解决。

为何科学与工程密切结合的局面迟至 19 世纪末期才出现呢？究其原因：一方面，由于工程技术快速发展，人类可见的实践发明已接近极限，新的技术发明不得不依靠基础科学的研究结果。另一方面，一些经典的科学理论日臻完善，可以直接作为工程技术发展的理论基础。所以，科学与工程在这种状况下开始紧密结合起来，孕育出许多新的知识。如电磁学理论与电气工程结合，建立了无线电学、电工学，奠定了通信工程、电机工程的理论基础；化学理论与有机化工结合，建立了有机合成理论，为化学合成工业的发展奠定了理论基础。而且，某些支系的发展特别丰富精深而蔚然成为一个新的学科，逐渐脱离母体学科独立发展。

力学是关于物质宏观运动规律的科学，它是近代自然科学的基础，也是物理学中最早发展并实现系统化的领域。作为一门近代科学，力学由 17 世纪的伽利略等人开创，半个世纪以后牛顿奠定了运动三大规律和万有引力。此后，力学沿着两种风格发展。一种是分析力学学派，这个学派继承经典分析力学的传统，重视分析方法、数学技巧，能够做详尽深入的研究，得出具体而全面的理论，代表人物有牛顿、拉格朗日、拉普拉斯、雅科比等。拉格朗日的名著《分析力学》体现了这种风格的典型特征，该书序言中的一段话非常贴切地反映出这个学派的学术旨趣：“我的目的就是要把力学的理论，与力学有关的问题的解决方法，化成一般的公式。只要运用这些公式，就能得到解决每个问题所需的所有方程……我所叙述的方法既不需要作图，也不需要作什么几何的或力学的讨论，这些方法只要求按照既定的千篇一律的方式进行代数运算就可以了。所有爱好分析的人都会满意地相信，力学变成了分析的一支，并将感谢我，因为我扩大了分析的应用范围。”[1]另一种风格便是 20 世纪初兴起的应用力学学派，他们把力学作为一门与工程技术有着密切关系的

---

[1] 转引自［苏］B.B.戈鲁别夫：《伟大十月社会主义革命前及苏维埃时期力学在莫斯科大学的发展》，吴鸿庆、吴望一译，《力学学报》1957 年第 1 期。

学科看待，致力于将经典力学用于解决实际工程问题，从工程技术发展的需要提出力学问题进行研究，注重理论研究与工程实践结合，力图建立力学理论与工程实践之间的紧密联系。从历史上看，这个学派的产生是工程技术发展的客观要求和必然结果。

19世纪后期，第二次工业革命以比第一次工业革命更加迅猛之势席卷全球。随着大机器生产和陆海运输的迅猛发展，对力学提出了多种多样的要求。分析力学虽然成绩洋洋大观，却有其固有的缺点，因为分析法有时太复杂，不适合工程实际。比如，虽已有了弹性和流体的方程，但它们难于求解，不能直接应用。所以，许多问题不得不从力学概念和简单实验出发，采用大刀阔斧的简化模式和经验、半经验的方法处理，在处理方法上完全是实用性风格。当时的基本状况是：一方面把力学当作数学看待，用深奥的数学作理论研究，大多过于抽象，离工程实际较远，不能满足工程实际的需要；另一方面使用经验手段解决实际问题，不太关心力学现象的内在机理。一句话，由于实际工程问题异常复杂，现有的力学理论与工程实际之间存在着难以克服的数学求解困难，所以力学理论无法为工程设计直接应用。马克思虽说过，“大工业的真正科学的基础——力学，在十八世纪已经在一定程度上臻于完善”。[①]实际上，在此后相当长的时间里，力学与工程仍是分开发展的，二者之间缺乏紧密结合。在这种情形之下，应用力学应运而生。这门学科一方面运用深奥的数学工具做理论研究，另一方面结合工程实际，目标是建立一般性的工程应用理论，在学术风格上与追求抽象、严谨的分析力学有着显著的差异，并弥补了后者的不足。

应用力学兴起的前夜，正是科学史上风起云涌的时代，科学界出现新旧两个世界的分野，之间发生着激烈的碰撞。当时，以牛顿力学为基础的近代科学大厦基本奠定。在这个体系中，世界是独立于人类观测的客观存在，客观世界就像一台庞大的机器，自然界的一切物质就像这部机器的零部件，其运动规律和相互作用完全受力学规律支配，整个世界的未来走向和发展趋势也是由力学规律决定的。由此，产生了机械决定论和宿命论，恩格斯的《自然辩证法》便是对以牛顿力学为基础的客观世界看法的总结。其时，大部分科学家相信，经过200多年的发展，关于宏观世界的科学知识体系基本建立起来，近代科学尤其是物理学已经走到了尽头，剩下的工作只不过是对这个体系在细节方面做些修补和拓展而已，再也不可能像前辈们那样做出令人惊讶的创造性工作。可是，历史的进程恰恰相反。一群隐秘的年轻

① ［德］马克思：《剩余价值理论》，载《马克思恩格斯全集》（26卷第2册），人民出版社1971年版，第116页。

物理学家正在酝酿一场激动人心的革命，他们不断以爆炸性的新发现、新观念改变人类理解空间和时间的方式：1895 年德国人伦琴发现 X 射线，1896 年法国人亨利·贝克勒发现放射现象，1898 年法国人玛丽·居里和皮埃尔·居里发现放射性元素镭，1897 年英国人汤姆逊发现电子，1900 年德国人马克斯·普朗克发表量子论，1905 年爱因斯坦发表相对论。其中，量子理论认为，物质可以同时处于多个可能状态的迭加态，当被观测或测量时，才会随机地呈现出某种确定的状态。相对论和量子力学为人们提供了认识物质世界的新方式，给十九世纪和二十世纪之交“被视为如此坚固的物理学大厦带来了一个又一个的毁灭性打击”，[①]开启了 20 世纪新物理学和新科学的大门，让人类迎来最具革命性的科学时代。

几乎在任何时候，“人类思维和创造性活动的任何一个领域都会对有天才的人显示出不可克制的诱惑力量”。一时间，科学界的主流观念来了个 180 度大转弯，这些新发现和新理论如同磁石，将许多年轻科学家吸引到新物理学领域。因为在这一领域里，“有许多新奇和未解决的东西，所以这里的教师和学生比研究其他学科的师生要团结得好”。“老年人和年轻人在这一征服物质内部微观世界的过程中都是平等的同行关系。无论是年老的或年轻的都同样对自己的成绩感到自豪，也都同样地在不了解的事物面前表现出谦虚和没有信心。”[②]许多年轻物理学家、化学家“‘刹那间闪现的思维火花’也会引起国际职业团体的不小的惊愕，而在某种情况下，几乎一夜的工夫就给那些新事物的发明者送来荣誉”。[③]这一切不能不令人向往，激励着年轻人在新领域努力探索，用新物理学的理论去解释各种以前无法解释的现象，由此使科学界激情澎湃、光芒四射。“这是一个绝妙的激动人心的时代”，美国“原子弹之父”罗伯特·奥本海默在谈到这一时代时说：“这是英雄的时代——在实验室里细心而耐心地工作的时代，决定性的实验和大胆的行动的时代，走过许多弯路和进行过许多未经证实的推测的年代。这是一个常有重要消息和紧急会议的时代，是争论、批评和取得辉煌数学成果的时代。这是一个创造的时代。”德国物理学家帕斯库尔·约尔(Ernst Pascual Jordan)也回忆说：“每个人都十分紧张，甚至都喘不过气来。冰冻已经化开了……一切都越来越清楚地表明，我们在探索大自然秘密方面已经进入了崭新的而且是极隐蔽的领域。很显然，为了解决矛盾，除了有以前的物理学概念而外，还得有全新的思维方法。”[④]就是在这样的环境下，新的发现和研究结果雨后春笋般地涌现起来，如伦琴的论文“论一种新射线”发表后

---

① ［西德］罗伯特·容克：《比一千个太阳还亮》，何纬译，原子能出版社 1966 年版，第 4 页。
② ［西德］罗伯特·容克：《比一千个太阳还亮》，何纬译，原子能出版社 1966 年版，第 11 页。
③ ［西德］罗伯特·容克：《比一千个太阳还亮》，何纬译，原子能出版社 1966 年版，第 16 页。
④ ［西德］罗伯特·容克：《比一千个太阳还亮》，何纬译，原子能出版社 1966 年版，第 5 页。

一年之内,关于X射线,全世界出版了50本专书和大约1 000篇论文。

在最能体现人类抽象思维能力的数学领域,这时也取得了许多突破,尤其是希尔伯特1900年在法国巴黎召开的第二届国际数学家大会上所做的题为“数学问题”的报告,即数学史上著名的“巴黎讲演”。希尔伯特深刻阐述了数学发展中的重大而关键的问题在数学发展和数学家个人创造活动中的重要作用,数学问题的来源以及解决数学问题的方法论原则。他还从各个数学领域精心挑选出23个重要问题,号召世界数学同行去研究解决。这个报告指出了20世纪数学发展的方向,吸引了全世界数学家的注意力。以希尔伯特和哥廷根大学的声誉,几乎全世界优秀数学专业的学生都受到这样的忠告:“打起你的背包,到哥廷根去!”①对富有进取心的青年人来说,进入新的科学领域才算是赶上了科学主流,这样容易取得重要成果并在学术界成就不朽的名声,那些过时的领域往往难以取得耀眼的成就。总之,物理学、化学和数学领域不断取得崭新而重要的突破,激发和吸引年轻科学家去建功立业,这使古老而传统的力学黯然失色,面临着严重的危机。

柳暗花明又一村。能够在大气中飞行且重于空气的飞机在1903年横空出世,这使设计制造性能优越的飞机成为工程技术界的热点。飞机设计不能继续依靠以前的试错法和经验摸索,必须从理论上寻找突破的途径,为工程设计提供理论指导。于是,源于经典力学而不同于经典力学的流体力学、固体力学等应用力学应运而生,吸引许多优秀青年投身其中,使古老的力学重新焕发出勃勃生机,孕育出许多新的生长点。这些学科的建立不仅给世界工程技术带来了翻天覆地的变化,也丰富和深化了人类关于物质世界的看法。后来,高速飞机、火箭、导弹等在战争和社会生产中展现出的巨大价值,使与其紧密相关的应用力学取得了与释放原子能的核物理学等“尖端”学问分庭抗礼的地位。

由于研究宇观世界的相对论和研究微观世界的量子论的出现,许多物理学家的兴趣被吸引到了近代物理学领域,对牛顿力学所研究的宏观世界已没有多少兴趣,而研究理论力学的数学家又太注重理论分析的严谨性,忽视与工程实际的结合。在这种情况下,力学与物理学、数学发生分野,发展力学的重任也从物理学界、数学界转移到了工程技术界。应用力学起源于何时何地?应用力学怎样与物理学分道扬镳,逐渐发展成为独立的学科?追根寻源,主动将理论力学应用于解决工程问题,建立应用力学这门学科和学术传统要追溯到德国哥廷根大学克莱因、普朗特开创的应用力学学派以及俄国茹科夫斯基开创的莫斯科学派。

① [美]康斯坦丝·瑞德:《希尔伯特——数学世界的亚历山大》,袁向东、李文林译,上海科学技术出版社2006年版,第116页。

第二节　克莱因倡导和推动科学与技术结合理念

哥廷根大学创立于1737年,她的伟大科学传统是由数学家、“欧洲数学之王”高斯(K.F.Gauss,1777—1855)开创的。高斯的横空出世,让数学的花朵逐渐从法国移植到了德国。哥廷根的学术传统还深受天文学家、哲学家康德(I.Kant,1724—1804)哲学思想的影响,康德哲学建立在“理论”与“实践”既分立又结合的哲学思路之上。在数学之外,高斯奠定了哥廷根大学理论研究与实际应用紧密结合、数学与自然科学紧密结合的优良传统,开启了数学与天文学、物理学结合的光辉时代。高斯对工程技术也颇有贡献,他尽可能地从经验出发提出各种新的思想和理论,并将数学应用于天文和物理问题的研究,这一科学传统被后继者发扬光大,并在19世纪末20世纪初得到新的激发。当时,哥廷根大学成为世界上十分活跃的物理学、数学研究中心,许多优秀物理学家、数学家经常到此聚集,谈笑有鸿儒的场面司空见惯,创新的思想在这里不断涌现。这种自由开放的氛围使如日中天的哥廷根大学成为应用力学的发源地。

在哥廷根大学,直接推动应用力学产生的当属克莱因。克莱因是一位伟大的数学家,学术创造力、组织才能和用于打破纯粹数学和应用数学之间壁垒的魄力,这三者在他身上巧妙而奇特地结合在一起。①早年在埃尔兰根大学担任教授时,他就强调数学要与应用到数学的各种科学范畴结合的重要性。1886年,克莱因就任哥廷根大学数学教授,进一步强调纯粹数学对技术物理学和应用力学的重要性。克莱因是哥廷根数学学派的创立者和主将,身材高大的他“有着一对明亮的富有洞察力的眼睛,他总是信心百倍,这是一位伟大的思想家,又是一位勇敢的、孜孜不倦的、有着鼓舞力量的组织家”,②社会交往和科学管理能力极强,与政府和教育部门建立了融洽的关系。在他和后继者希尔伯特的领导下,哥廷根数学学派进入全盛时期。更为重要的是,克莱因的兴趣越来越转向应用数学,越来越重视理论与应用的结合,他曾说:“在哥廷根,我们总是坚持纯粹数学同空间直观、同实际问题之间的联系,总是认为数学研究的真实基础在于理论与实际的恰当联盟之中。③”还说过,“最伟大的数学家如阿基米德、牛顿和高斯,总是同样地把理

---

① [美]康斯坦丝·瑞德:《希尔伯特——数学世界的亚历山大》,袁向东、李文林译,上海科学技术出版社2006年版,第22页。

② [西德]罗伯特·容克:《比一千个太阳还亮》,何纬译,原子能出版社1966年版,第8页。

③ 李心灿、黄汉平:《数坛英豪》,科学普及出版社1989年版,第241页。

论与应用结合为一体”。[①]即数学应当与工程紧密地联系起来，所有的伟大数学家都应知道如何运用数学去解决实际问题。不过，这种观点并不为希尔伯特和其他数学家赞成。19世纪纯粹数学的迅猛发展，使数学和其他科学之间的距离日渐拉大。针对此，克莱因主张采取积极的态度促进两者相互渗透：一方面唤起数学家对应用问题的高度重视，另一方面引导工程技术人员掌握和理解作为基础科学的数学。其间，一次偶然的经历促使他做出一项足以改变世界工程技术发展进程的历史性举措。

1893年，为纪念哥伦布发现美洲新大陆400周年，美国在芝加哥举办世界博览会，同时召开国际数学家大会。克莱因代表德国参加了这次大会，并在会上做了“当前数学的状况”的报告。其间，克莱因参观了整个博览会，访问过麻省理工学院，该校注重实用的教学内容给他留下了深刻印象。他发现，美国正从一个资源丰富的后进国家发展成为一个新兴的工业国家，并且可以不受资源条件的限制，由此意识到资源短缺的德国工业必须依靠科学技术的帮助，才能与美国同行竞争。这次北美之行的结果，用冯·卡门的话来说，“他所认识到的如今已成为很寻常的事情，这就是与拥有大量丰富资源的美国技术竞争，欧洲工业只有在生产效率和节省材料上取得优势才能生存下来。而要让这种优势成为可能，只有在化学、物理学、力学和数学的帮助下尽可能地提升工艺流程的精确性和重要计算的精确度。”[②]此外，美国“许多大学和科学研究组织都是由私人的基金来开办的，行政独立”，这也给予克莱因的印象很深，促使他“决定试用美国的方法并和德国实业界的代表们建立联系”。[③]

回到哥廷根后，克莱因越发感到基础科学和工程技术结合的重要性和紧迫性，积极倡导和发展将基础科学应用到工程实际，培育有利于工业发展的青年科学家，并且迅速把这种想法贯彻实施。他写信给德国炼铁会干事长许洛脱(Schroder)博士：“化学和工业的关系，已经是大家所知道的，我很愿意使物理和数学也同样的和工业发生关系并且希望工艺界也考量数理和工业发生关系以后，对于工业的良好影响，来扶助我实现这种主张。”[④]1898年2月，克莱因聚集一批产业界和科学界的专家成立了一个名为“哥廷根应用数学和力学促进会”(Gottingen Association for Advancement of Applied Mathematics and Mechanics)的社团，取得了克虏伯集团

---

① 转引自袁向东、李文林：《哥廷根的数学传统》，《自然科学史研究》1982年第1期。

② Hugh L.Dryden. Theodore von Karman, *Biographical Memoir of the National Academy of Sciences*, Washington D.C.1965.

③ [美]S.P.铁木生可：《材料力学史》，常振檝译，上海科学技术出版社1961年版，第323页。

④ 转引自鲁道夫·沈克(Rudolf Schenck)：《理工的结合和公共事业》，李仲珩译，载北平中德学会：《五十年来的德国学术》，商务印书馆1938年版，第723—724页。

等大企业的支持和资助，开创出科学界与工业界合作的新局面。在他的领导下，哥廷根向科学与技术密切结合的方向发展，相继设立应用数学、应用力学和技术物理学这三个新的讲座，并成立天文学、力学和光学等一系列的科学和技术研究所，它们后来成为德国制造业厂商的技术指导中心。

1904 年，哥廷根大学成立应用力学系，邀请年仅 29 岁的汉诺威工学院工程力学教授普朗特主持。这一年，普朗特在海德堡第三届国际数学家大会上宣读了一篇名为"论粘性很小的流体运动"的论文。①克莱因敏锐地意识到这篇论文对流体力学或空气动力学的重要价值，从而对普朗特赏识有加。这是第一篇根据流体运动方程对附面层（边界层）进行理论分析的论文。普朗特在观察、实验的基础上，提出绕物体流动的小粘性边界层方程，为计算摩擦阻力、求解分离区和热交换等问题奠定了基础。而且，他首先提出的边界层理论把理论和实验结合起来，是运用应用力学方式处理工程问题的样板，不仅给出的重要结果可以应用，而且建立了新的研究方法。此后，边界层理论成为流体力学中一个非常重要的部分，得到全面的发展与应用，1954 年为纪念"边界层理论研究五十年"还举行了专门的交流会议。来到哥廷根后，普朗特初任工程物理副教授，1907 年 6 月担任应用力学教授，并主持应用力学研究所。至此，应用力学作为一门独立的学科在哥廷根登堂入室。也是在 1904 年，哥廷根应用数学副教授席位空缺，克莱因乘机向教育部提议为这一学科设立正教授的席位，获得同意。这样，德国首次为应用数学设立正教授席位，聘请数学家龙格（C.Runge）主持。另外，还聘请西蒙（H.T.Simon）为技术物理学（应用电气学）教授。

理论脱离实际是 19 世纪以前工程教育的一大缺陷。当时，科学与技术结合的思想尚未确立。工程技术在 19 世纪有了显著的进步，但大学仍然对它无动于衷，认为发明创造不是高等教育界的事情。甚至还有人认为，纯科学与工程技术没有联系。克莱因却不以为然，刻意创造各种机会推动理论与工程结合，以填平科学与技术之间的鸿沟。到了 1905 年，克莱因对数学应用于物理和技术上的兴趣达到了高峰，并且感染了其他的一些教授，甚至还影响到希尔伯特和闵可夫斯基这样的"纯"数学家。②他先后组织举办了 3 期应用数学和应用力学讲座，在当时的大学里开设这类讲座称得上是破天荒的创举。为了增进纯粹数学与这些新设应用科学的联系，克莱因自任主席，邀请应用科学全体教授组织研究会（seminar），材料力学、结构理论、弹性理论、电机工程等均被列入研究范围。"每次两小时的会议中，由一

---

① Ludwig Prandtl:《论粘性很小的流体运动》，张维等编译，《普朗特纪念报告译文集——一部哥廷根学派的力学发展史》，清华大学出版社 2013 年版，第 817—822 页。

② [德]马克斯·玻恩:《我的一生（马克斯·玻恩自述）》，陆浩等译，东方出版中心 1998 年版，第 140 页。

个学生根据事先提供的题目经过相关的教授指导在会上做出论文报告。论文报告提出来以后，接着由在座的教授和学生们进行讨论。”克莱因的意见总是很有价值的，因为“他有丰富的知识和卓越的才能，他能在每个专门问题中看出某些最重要的关键以中肯的意见指出所提问题和有关学科中各种问题之间的关系。这种由纯粹数学和应用科学的代表们联合在一起的研究会是一种新颖的组织，它不独吸引德国的，而且也吸引其他国家的许多青年工程师们的兴趣，因此集会时经常具有国际性的气氛。”①晶体物理学家玻恩参加过克莱因、龙格主持的弹性理论讨论班，并在讨论班上就弹性线(弹性的稳定性)问题做过报告，将从希尔伯特那里学到的变量积分学知识应用于弹性问题，以严格的数学方式成功地推出了普遍情况的稳定条件的式子，并且表明已知的某些例子(欧拉直线稳定性公式)只是他的普遍条件的特殊情况。克莱因对玻恩的报告十分满意，向他写信表示喜欢他处理问题的方式，即不像文献中见到的那样，依靠特殊例子，而是从普遍的数学立场出发。②在工程人才培养上，克莱因认为：“工科大学不仅要有坚实的理论基础，还应该真正懂得科学研究的方法。另一方面，数学家也需要具备一些工程技术基础知识”。③经过克莱因持续不断的努力和推动，哥廷根步入纯粹数学、应用数学、应用力学、应用物理学协调发展的黄金时代，以理论科学著称的哥廷根大学一跃成为科学与技术结合的摇篮。

第三节　普朗特建立应用力学的学术范式

在哥廷根平等自由的环境下，普朗特将理论联系实际的才能发挥得淋漓尽致。他与龙格密切配合，共同改进应用数学和应用力学的教学和科研，使哥廷根成为吸引年轻人学习应用数学和应用力学的重要中心。

20 世纪以前，工程师们大多没有多少科学背景，他们的工作思路依然因袭前辈：利用简单的科学原理，主要依靠经验指导工程设计。1903 年莱特兄弟发明飞机后，航空工业成为欧美各国竞相发展的新兴产业。与以往最大的不同是，其他工业不依靠科学理论指导设计，照样可以发展，而航空工业就另当别论了。因为它要求将飞机既要设计得结构牢固，又要质量轻巧，以适合飞行，所以飞机工程师再也不能依靠试错法和经验摸索搞设计了。对此，冯·卡门回忆说：“在航空发展初期，

---

① [美]S.P.铁木生可：《材料力学史》，常振檝译，上海科学技术出版社 1961 年版，第 323—324 页。

② [德]马克斯·玻恩：《我的一生(马克斯·玻恩自述)》，陆浩等译，东方出版中心 1998 年版，第 142 页。

③ [美]冯·卡门、李·爱特生：《冯·卡门——航空与航天时代的科学奇才》，曹开成译，上海科学技术出版社 1991 年版，第 63 页。

人们的注意力集中在新设计的飞机能不能飞，不大考虑节省材料问题。那时，每架飞机的用材确实有很大浪费。”后来，人们认识到“一架飞机如果使用了过多材料，对起飞影响姑且不论，至少也要使飞机性能有所降低。由此可见，飞机设计必须进行复杂的理论计算”。①然而，当时理论与实验之间存在着巨大的差距，还没有直接供飞机工程师使用的科学理论。如按牛顿理论进行飞机设计，机翼重量、升力、阻力以及发动机功率、重量等因素在工程上根本无法协调，以至于有人干脆说：“牛顿耽误了飞机的发展。”实际上，早期从事飞行探索的工程师基本上没有从牛顿力学中寻找理论依据，牛顿也没有妨碍人们的梦想。总之，必须从理论上为飞机设计的突破寻找新途径，以理论指导工程设计，而且这门理论科学必然是一门理论与工程紧密结合、高度复杂的学问。

当时，普朗特和克莱因都认识到开展航空研究的重要性和迫切性。普朗特瞅准这一新兴的工程领域，将学术兴趣转向空气动力学，积极筹建实验室，培养人才。1907 年，普朗特负责在哥廷根建造德国第一座风洞，以研究飞行器气动力特性，发展相应的测试技术。1911 年 2 月，在克莱因支持下，普朗特向威廉皇帝科学协会建议组建专门的空气动力学与流体力学研究机构。不过，直到 1925 年哥廷根大学才成立威廉皇帝流体力学研究所。1916 年，哥廷根大学开始筹建开口回流型普朗特式风洞，建成以后进行了机翼等部件的气动特性实验研究。在此基础上，普朗特于 1918 年提出了著名的机翼理论，提出了根据小模型风洞内的实验结果设计飞机的方法。后来，全世界的飞机设计师都应用它来设计飞机。机翼理论和附面层理论是普朗特对流体力学的最大贡献，并创立了应用力学研究的基本范式，被后世誉为应用力学的奠基人。普朗特建立的应用力学在力学和工程之间，开辟了一条巧妙地将力学研究与数学分析结合起来求解工程中力学问题的途径，可以定量地给出一些对实际工程很重要的量。1954 年，冯・卡门说过，空气动力学“这门科学的发展是‘数学人’”“和有创造能力的工程师通力合作的一个稀有的例子。从纯数学家们的园地中生长出来的数学理论居然被发现适宜于用来描写飞行器所产生的空气流，而且异常的精确，以致可以直接应用于飞机设计。我们只要回忆一下 1879 年一个专家发表过的意见，就知道这是一件相当惊人的事情。在皇家航空学会的前身英国航空学会的第十四届年度报告中，我曾经看到过这样的一句话，‘就飞行问题来说，一直到今天，数学对我们完全没有用处的。’”②航空工业产生之前，工程师可以依靠经验进行工程设计，而飞机出现以后，这条老路走不下去了，必须

---

① [美]冯・卡门、李・爱特生：《冯・卡门——航空与航天时代的科学奇才》，曹开成译，上海科学技术出版社 1991 年版，第 168—169 页。

② [美]冯・卡门：《空气动力学的发展》，江可宗译，科学技术出版社 1958 年版，第 2 页。

依靠科学理论指导工程设计。应用力学的诞生，无疑为航空时代安装上了发动机，使航空工程师抛弃试错法，跨入科学设计的大门。反过来，航空工业的诞生为应用力学的兴起创造了契机，使服务飞机设计的固体力学、流体力学应运而生，在飞机设计与经典力学之间搭建起了桥梁，即理论力学——固体力学、流体力学——航空工程。

在学术取向上，普朗特强调应用力学理论为工程实际服务，从工程实际中提炼研究题目，为力学理论和各种工程技术特别是刚刚兴起的航空工业发展作出了奠基性贡献。随着机翼理论和附面层理论这两大理论的建立，应用力学的研究范式基本形成，从中可以看出应用力学怎样从工程实际中提出力学问题，怎样运用应用力学的方式解决问题，应用力学又是怎样在解决工程实际问题中向前发展的。传统的力学工作思路是先建立基本方程，然后依靠和利用数学的强大能力，通过解析法研究问题。而应用力学，一是重视物理现象的本质研究；二是注重理论联系实际，善于从重要的工程技术问题中精选课题，并重视力学理论的发展与提高；三是处理力学中的数学问题并不拘泥于数学上的严谨性。简言之，它的研究纲领可以归纳为：第一，深入分析问题的机理，包括确定问题的要点和现象中的主要因素。第二，建立模型，吸收一切主要因素，略去次要因素，着重考虑问题某一方面的本质。第三，正确运用科学规律和恰当的数学方法进行分析和计算，得出的结果与事实对比，以检验建立的理论是否正确。第四，数学是重要的研究工具，必须掌握数学分析与计算方法。可见，应用力学把力学分析、应用数学、实验研究、简化力学模型巧妙地、有机地结合和利用起来，组成一套独特而有效的解决力学问题的方法。

应用力学虽是数学和工程的结合，但最为核心的东西还是物理直观能力，冯·卡门说到普朗特学术路数的特点时评述道："Prandtl 学工程出身。他赋有稀有的理解物理现象的直观能力。他把这些现象表现为比较简单的数学形式的本领也是非凡的。Prandtl 对数学方法和技巧的掌握倒比较有限"。但是，"就抓住主要物理关系忽略次要以建立简化方程式组而言，他的能耐那是无人可比的。"[①]普朗特的女弟子、我国空气动力学家陆士嘉也在《中国大百科全书·力学卷》的"普朗特"词条中写道："普朗特重视观察和分析力学现象，养成非凡的直观洞察能力，善于抓住物理本质，概括出数学方程。他曾说：'我只是在相信自己对物理本质已经有深入的了解以后，才想到数学方程。方程的用处是说出量的大小，这是直观得不到的，同时它也证明结论是否正确。'"[②]应用力学主张用数学解决实际问题，但与一般数

---

① ［美］冯·卡门：《空气动力学的发展》，江可宗译，科学技术出版社 1958 年版，第 41—42 页。

② 《中国大百科全书（力学卷）》，中国大百科全书出版社 1985 年版，第 386—387 页。

学家的“应用数学”不一样。它们之间的差异如同钱伟长所说的那样，“数学家们是在研究数学问题，从数学中找问题的。哥廷根学派是为了物理、化学和一般技术找问题，而要用高明的数学方法去说明物理或技术问题。首先要弄清物理或具体技术问题的本质。其次是要用数学上现已通用的表达方式去表达它，然后按实际问题的需要来求得实际的定量或定性答案”。[①]应用力学运用这种方法解决了航空、土木、机械等领域大量复杂的力学问题，不断以新的成果改变工程设计的理念，也转变了力学的传统风格，给古老的力学注入了新的生命力。应用力学对经典力学既有传承又有创新，它的兴起和发展的过程不愧为技术科学形成历史上的经典案例。

随着学科自主意识的确立，催生出应用力学的学科制度，而学科制度的发展与完善又带动应用力学的发展和壮大。鉴于哥廷根大学在世界科学界的崇高地位和影响，它被应用力学研究者尊为心目中的圣地，世界各地优秀才俊趋之若鹜。普朗特一方面在研究所主持研究，另一方面通过教学和科研培养年轻应用力学家，共有80多人在他的指导下完成博士阶段的学业，[②]其中许多成为国际知名学者，如冯·卡门、贝茨、托尔明、戈特勒、许里希廷、阿克莱特、纳戴和普拉格等。另外，铁木辛哥和邓哈托也曾跟随他做过研究。在普朗特指导下，他们分别从事不同方向的研究，研究课题大多来自工程实际，在研究中既善于抓住事物本质，又重视实验观察，做出理论概括，研究成果也多有普遍的指导意义，并且不断开辟出新的研究领域，为应用力学的持续发展打开了局面。关于普朗特对学生学术成长的深刻影响，铁木辛哥说过，他“所有论文的主要特点是它们的创造性。他的著作经常给研究者开辟了新的范畴，并且他拥有相当多的学生可以依照他的先行工作所指示的方向作他的接班人。”[③]在这个独特的科学文化氛围中，借助导师—学生之间以及学生—学生之间生动而刺激的互动，创造性精神不断得到激发，学术传统得以分享和流布，相互竞争而合作的学派得以生成。这样，哥廷根大学成为世界应用力学的发祥地，做出了许多奠基性的工作，创造出新的思想方法，展现出激动人心的吸引力，形成了一个跨越国界的应用力学学派。随着大批青年学术翘楚的涌现和流动到世界各地，哥廷根应用力学学派的声名与精神远播，甚至连“俄国第一流科学家也是受到哥廷根大学的影响”[④]，成为世界技术科学领域的拓荒者，并代有传人，独步于当

---

① 钱伟长：《怀念同窗益友郭永怀教授》，载郑哲敏主编：《郭永怀先生诞辰九十周年纪念文集》，气象出版社1999年版，第7—9页。

② K. Oswatitsch, K. Wieghardt. Ludwig Prandtl and his Kaiser-Wilhelm-Institut, *Annual Review Fluid Mechanics*, 1987, (19): 1—26.

③ [美]S.P.铁木生可：《材料力学史》，常振楫译，上海科学技术出版社1961年版，第328页。

④ [美]冯·卡门、李·爱特生：《冯·卡门——航空与航天时代的科学奇才》，曹开成译，上海科学技术出版社1991年版，第229页。

世，擅名于后代。

应用力学的另一个开拓者当推俄国空气动力学家茹科夫斯基。茹氏 1868 年毕业于莫斯科大学物理数学系，1882 年获得应用数学博士学位，1885 年担任莫斯科大学力学教授。他采用理论研究与实验结合的方法，对从工程技术需要提出的许多具体的力学问题进行研究，开创了力学研究的新方向和新方法。他创建力学实验室，开展实验与理论相统一的空气动力学研究。1890 年前后，相继发表《关于飞行器的某些理论根据》、《飞行理论》和《论鸟的飞翔》，以及 1897 年发表的《论飞机最佳倾角》等著作，发展了飞行动力学，为飞机气动力计算奠定了基础。1902 年在莫斯科大学领导建造世界上较早的风洞。1907 年运用环流概念阐明升力产生的原理及计算公式。后来，他的科学兴趣范围逐渐扩大，除了流体力学和固体力学外，还在天文学、水力学、地下水理论、炮弹理论等方面开展研究。

在茹氏的著作中，理论和实践是不可分割的：广泛的理论研究构思来源于工程技术中的迫切问题，反之，出色的实际结论得自于深刻的理论研究。而且，他热心人才培养，从根本上改变了当时的力学教授方法，“除了分析方法之外，他广泛地使用了具有更大直观性的几何方法；实践上及工程上重要的特殊问题被提到了首要的地位，并且从各方面强调指出所得的解的实际物理意义；在讲述各种基本原理时，他更多地从实验方面论证这些原理的正确性，而这一点正是自然科学的应有的方法。力学逐渐从一门严格的数学课程变为与物理学接壤并作为工程技术基础的自然科学。用这种态度看待力学时，如何把具体问题的解化到物理上明显的结果和如何应用到技术上去，就成为讲课中极重要的内容。”① 由于他广泛的学术兴趣和影响力，吸引了大批青年学者，其中涌现出多位世界著名的应用力学家，形成了莫斯科学派。

本书在讨论技术科学发展史时主要依据哥廷根应用力学学派的工作，因为主要是来自这个学派的代表人物的研究成果奠定了应用力学的理论基础。这两大学派虽源于不同地域和文化传统，但在学术旨趣和研究方法上有着相似的特点。也就是，他们将力学从物理学或数学中分离出来，将力学的基本原理与工程应用结合，独立发展成为应用力学这个新的知识体系，并形成近代科学思想潮流中极具影响的流派。同时，他们还开创了一个新时代：一个基于科学的技术与基于科学技术的生产相结合的时代。总而言之，应用力学的诞生是近代科学技术史上的里程碑和工程技术发展史上的分水岭，它为科学研究提供了科学与技术结合的新理念，为

---

① 转引自[苏]B.B.戈鲁别夫：《伟大十月社会主义革命前及苏维埃时期力学在莫斯科大学的发展》，吴鸿庆、吴望一译，《力学学报》1957 年第 1 期。

科学技术增添了新的内容，带动了人类生产力突飞猛进。

第四节　冯·卡门发扬光大应用力学学派思想

冯·卡门，1881 年生于匈牙利布达佩斯的一个犹太人家庭。他的父亲莫里斯·冯卡门是杰出的哲学家和教育家，也是弗朗西斯·约瑟夫教皇统治下公立基础教育系统中十分活跃的一员。母亲海伦·科恩，出身书香门第。这是一个典型的知识分子家庭，崇尚文化知识。孩提时代的卡门，就表现出惊人的数学才能，6 岁时竟然能用心算速算 5 位数乘法。不过，父亲并未抑制少年早慧的卡门对自然的好奇心和智力的敏捷性，以转移他在数学上的智力过早发展。卡门中学上的是布达佩斯著名的明德中学，这所中学由他的父亲一手创办。1898 年，卡门进入皇家约瑟夫大学学习工程。1902 年大学毕业后，在布达佩斯工业大学当助教。其时，他对材料力学中的一个古典问题——受压杆件的挠曲现象产生兴趣，并进行了深入的研究，以寻求一种可供工程实用的计算理论。这件事在卡门“以后生涯的早期阶段中起了重要作用”。①他的父亲知道此事后，十分激动，劝说卡门到国外从事科学理论研究。

由于卡门对人才辈出的德国科学界兴趣甚浓，随即向匈牙利科学院申请赴哥廷根大学研究应用力学的留德奖学金，获得成功。1906 年，卡门打起背包来到哥廷根，拜师普朗特，专攻材料力学，开启了通向成功的大门。1909 年，卡门获得博士学位，博士论文选题为“非弹性挠曲理论”，研究结果为飞机和建筑结构上非弹性压杆的稳定性提供了理论计算公式——“冯·卡门板方程”，很快被工程界接受。随后，卡门赴法国巴黎学习半年，这居然成为他“一生中的一个关键”。②在巴黎，有一次卡门陪朋友去观看欧洲首次仅有 2 公里的飞行表演。卡门对这次飞行的印象非常深刻，进而对新兴的航空事业产生了浓厚兴趣。1909 年秋，卡门重返哥廷根，担任普朗特的空气动力学实验助手，兼任力学课程编外讲师。其间，还在 1912 年秋到匈牙利塞尔梅兹巴尼亚矿业学院做过短暂的应用力学教授。

4.1　哥廷根应用力学学派的新锐

在哥廷根学习与研究的六年，卡门奠定了深厚的理论科学基础和从事研究的

---

①　[美]冯·卡门、李·爱特生:《冯·卡门——航空与航天时代的科学奇才》，曹开成译，上海科学技术出版社 1991 年版，第 37 页。

②　[美]冯·卡门、李·爱特生:《冯·卡门——航空与航天时代的科学奇才》，曹开成译，上海科学技术出版社 1991 年版，第 47 页。

学术理念。克莱因组织的学术讨论会令他“非常入迷”,也让他深受自由探讨学风的熏陶。爱因斯坦、希尔伯特、闵可夫斯基、洛伦兹和龙格等科学大师经常到会,让这些高水平的科学盛会“才华横溢,想象新奇,令人振奋”,成为“德国最新科学思想的传送带”,“吸引了所有青年的注意力”。通过学术讨论会,卡门说他“不仅结识了许多物理学家和数学家,而且对各个科学分支——从初露头角的原子理论到沙漠的砂粒运动都怀有浓厚兴趣。日后,我不独钻一门,能从事空间技术多方面的研究工作,正是靠在哥廷根打下的基础”。更为重要的是,出类拔萃但风格迥异的数学大师克莱因、希尔伯特“都以各自独特的风格极大地影响了”卡门的前程。希尔伯特虽比卡门年长 20 岁,却与他结为忘年之交,卡门回忆说:“他能迅速洞察科学领域中的暗区和尚未攻克的数学难题之间的内在联系,多年以后仍然予我以很大的鼓励和帮助。”在 19 世纪,工科院校广泛采用描述法或定型方法研究自然现象,“希尔伯特的论点教我懂得应该用定量方法取而代之;起码也得用定量方法来加强它。他的理论使我坚信自然界具有数学本质,从而推动我毕生在那些光凭经验无法澄清的混乱领域中寻求数学解答。”克莱因曾劝导卡门将他感兴趣的科学分支,主要是力学、弹性理论、固体和流体运动,结合起来研究。这是因为,克莱因“认为数学应当和工程实践相结合。他经常喜欢说,世界上最伟大的数学家,比如阿基米德和牛顿完全懂得怎样运用数学去解决实际问题。”

传统的工科学校热衷于传授工程实际知识,不重视基础理论和数学,虽然有些学校也开设数学、物理和化学课程,但内容比较肤浅。当时,人们普遍认为工程师不需要那么高深的理论。克莱因绝不同意这种世俗的看法,认为工科大学不仅要有坚实的理论基础,还应该真正懂得科学研究的方法。另一方面,数学家也需要具备一些工程技术基础知识。后来,克莱因的这一学术理念和思想成为卡门“在亚琛工学院和加州理工学院继续搞科学与技术相结合的动力源泉。”①龙格是欧洲大陆上第一位应用数学教授。只有他讲课,卡门才肯早起。卡门还听过理论物理学家、晶体学权威福依格和热力学家能斯特的授课。导师普朗特不仅把理论与实践结合的观点传授给了卡门,卡门还向他“学习了另一些科学准则,尤其值得一提的是所谓‘概括法’。此法就是从一个复杂的物理过程中(不管是机器运转,还是河水流动)概括出关键的物理因素,然后用数学进行分析。”②作为普朗特的助手,卡门参加过哥廷根第一个风洞的筹建和“齐柏林”飞艇的设计。在协助普朗特运用风洞研

① [美]冯·卡门、李·爱特生:《冯·卡门——航空与航天时代的科学奇才》,曹开成译,上海科学技术出版社 1991 年版,第 56—63 页。

② [美]冯·卡门、李·爱特生:《冯·卡门——航空与航天时代的科学奇才》,曹开成译,上海科学技术出版社 1991 年版,第 46 页。

究各种流体运动问题的过程中，他提出了著名的“卡门窝街”理论。

可以说，卡门在哥廷根深得理论和应用结合精神与学风的熏陶，坚定了科学和技术融合的学术理念。这个理念成为冯·卡门终身追求的信条，使其“一向以填平理论科学和应用技术之间的鸿沟为己任”。

当时的卡门，还是一个极富个性的青年，而且此后保持着这种特征，物理学家玻恩晚年在自述中说卡门“对朋友关系是友好的，而对人的一般事务方面持尖刻的讥讽态度，这样一种两者皆有的奇怪的混合”。①物以类聚，人以群分。卡门确实极为崇拜并希望与拥有杰出才华的学者结交。在众多相知中，玻恩是后来成就卓著的一位。卡门的研究旨趣对玻恩的学术发展产生了显著的影响，使玻恩对卡门印象十分深刻。玻恩在自述中说，虽然他十分欣赏纯粹数学的研究风格，但觉得自己在这方面缺乏创造性，而“卡门却是搞应用数学的最好的典型的人物。他能够很好地赞赏推导的艺术价值，但是对于在自然科学或工程上不能实际应用的东西无大兴趣。我觉得，就是我们在汉普太太的公寓内一块儿吃饭的那段时期里，他研究出了极著名的液体流经圆柱形障碍物的线性双涡流理论。这个理论是很美的，但是，它所预见到的现象的第一张照片给人的印象更为深刻……我喜爱它甚至超过纯数学最出色的定理。当时我正在研究相对论的结果，而这些结果和可观察事实毫不相干。但是通过我们的日常讨论，我慢慢地转向了实际物理学的问题，而在我们呆在一起的最后一年里，我们联合起来搞原子物理学的一个问题，就是将量子论用于晶体理论。”②当时，研究原子物理学的热情盛况空前，也一下子吸引住了卡门。为此，卡门与玻恩合作研究晶体原子结构模型，于 1912 年共同发表“关于空间点阵的振动”的论文，提出了晶格中原子运动的“点阵”概念。其中，卡门在研究问题的思想方法上起了重要作用，玻恩回忆说：“我不认为卡门为我们的共同工作出的力比我大得多，不过他是推动力，是指导思想，我从他那里学到了数学物理的精髓。它们是：从正确的方面观看问题，在细致计算前用粗略和现有方法对预期结果的数量级作估计，使用适于所要求精度的近似方法，即便无法严格验证，也要这样做，再就是对所有事实要经常心中有数”。③他们对得到的结果非常满意，遗憾的是这一问题被苏黎世的同行彼得·弟拜领先一步解决了，这令他们颇为失望。不过，他们的文章比同行更为圆满，波恩的学生布拉克曼就明确肯定过他们在方法上的优越性。

对于卡门来说，构建晶体原子结构理论只是一个客串性质的工作，随后他与玻

---

① [德]马克斯·玻恩：《我的一生(马克斯·玻恩自述)》，陆浩等译，东方出版中心 1998 年版，第 199 页。

② [德]马克斯·玻恩：《我的一生(马克斯·玻恩自述)》，陆浩等译，东方出版中心 1998 年版，第 199—200 页。

③ [德]马克斯·玻恩：《我的一生(马克斯·玻恩自述)》，陆浩等译，东方出版中心 1998 年版，第 200 页。

恩分道扬镳，各奔前程。玻恩继续研究晶体动力学，1954 年获得诺贝尔物理学奖金，卡门则继续在空气动力学领域开疆拓土。

在克莱因的推荐下，1913 年 2 月卡门升任亚琛工学院航空学教授，并担负起组建空气动力学研究所的任务。一次大战爆发以后，卡门应征入伍，为奥匈帝国空军服务。战争期间，曾设计制造出世界上最早的系留式直升机。战后，回到亚琛工学院继续空气动力学研究。在卡门的组织和领导下，亚琛工学院空气动力学研究所逐渐兴旺发达，成为新兴的研究中心。卡门在那里研究湍流问题时与哥廷根大学保持着密切的联系，普朗特向他提供长期积累的实验资料，包括尚未发表的最新数据，师生合作得非常愉快且极有成效。在这段时间里，卡门在流体力学领域取得了十分出色的研究成果，羽翼日益丰满，成为与普朗特齐名的应用力学权威。1922 年，卡门与意大利罗马大学著名数学家勒维—西维塔一同发起召开第一届国际力学会议。两年后，这个会议在荷兰德尔费工业大学举办，来自世界各国的 200 多位科学家与会。1926 年，在瑞士苏黎世举行第三届国际应用力学会议。1946 年，会议更名为"国际理论和应用力学学会"。按照会章规定，学会每 4 年轮流在世界各国召开一次。"会议不断为力学领域提供新见解，并大大充实了从造船到喷气推进等各种力学问题的知识。"①

4.2 卡门与应用力学学派支脉在美国的植根和发展

1920 年代末以后，德国纳粹排犹主义日渐抬头，许多犹太籍科学家被迫陆续离开德国，迁居英美。那时，美国的科学水准还处于世界二流，不过正采取各种措施支持新兴科学的成长，加州理工学院属于将美国推向一流科学强国征途中的排头兵。

这所学院始建于 1891 年，原名思鲁普(Throop)技术学院，办学宗旨是"为教育事业、政府及工业发展需要培养富有创造力的科学家和工程师"。1910 年，学院进行重大改革，变成"一所学院、研究生院以及纯科学和应用科学的研究院"，校名亦相应地改为加州理工学院。1910—1920 年间，学院课程设置和科学研究偏向工程和应用科学，此后才逐渐重视基础科学。1920—1923 年间，学院校务委员会聘请因测定基本电荷的油滴实验而获得 1923 年诺贝尔物理学奖金的物理学家罗伯特·密立根(Robert Andrews Millikan)、化学家阿瑟·诺伊斯(Arthur Amos Noyes)、天文学家乔治·黑尔这三位著名科学家指导发展基础科学，并对学院进

① [美]冯·卡门、李·爱特生:《冯·卡门——航空与航天时代的科学奇才》，曹开成译，上海科学技术出版社 1991 年版，第 123 页。

行了重大改组。1920年代以后的南加州，各种工业发展迅速，经济增长惊人，急需各种研究机构与新兴科学知识。这种环境为新兴科学的成长提供了沃土和良机，犹如密立根所说，“在不远的将来，南加州将不可避免地发展起来……而这种发展只有在邻近已形成的大型研究与专门性学术中心才能够有效的实现，在威尔逊山天文台，加州工学院，以及亨廷顿图书馆已经建立起来了这样的中心……南加州目前的迅速发展，相当于纽约两倍的盎格鲁—撒克逊人的涌入……先前建立起来的威尔逊山观测台，亨廷顿图书馆，与加州工学院，以及地理与气候条件所有因素综合起来使这里成为一个充满机遇的地方。”①值得一提的事情还有，学院获得了大量来自产业领域的资金捐赠，因为各种新兴产业的发展，非常希望加州理工在科学与技术方面提供人力与知识上的支持。

密立根坚信加州理工学院将会对国家的局面产生深刻影响，学院为“每一个非凡的人提供了非凡的机会”。②为了让学院能在加州科学和工业腾飞过程中起到关键性作用，在各种社会赞助的支持下，密立根吸引到一批一流科学家加盟学院。果不其然，密立根的发展思路取得了非凡的成功。至1930年，生物学家托马斯·H.摩尔根(Thomas H.Morgen)，物理学理查德家·托尔曼(R.C.Tolman)、罗伯特·奥本海默(J.Robert Oppenheimer)，化学家诺伊斯、莱纳斯·鲍林(Linus Pauling)等先后来到帕萨迪那，使加州理工学院迅速成为世界著名的学术中心。

航空工业正成为当时美国的新兴产业，道格拉斯(Douglas)公司、洛克希德(Lockheed)公司等航空界先驱在南加州如雨后春笋般地开张运营。密立根很早就预见到航空工业会迎来迅猛发展，打算在学院发展航空动力学和航空学。当时，学院已有航空学教授哈里·贝特曼和A.A.梅里尔(Merill)。1926年，古根海姆基金会同意在加州理工学院设立航空实验室。为了使新设立的航空实验室站在比较高的起点上发展，学院四处物色合适的学术带头人。物理学教授爱泼斯坦(Paul S.Epstein)向学院董事会提名冯·卡门为候选人，获得董事会同意。1929年10月，出于对德国政局的忧虑，卡门接受密立根的邀请。当年12月，与他的母亲和妹妹一起举家迁到帕萨迪纳，担任加州理工学院古根海姆航空实验室主任。不过，他依然留恋亚琛工学院，继续担任那里的空气动力学研究所所长，在两个机构之间分配他的宝贵时间，直至1933年辞去亚琛工学院的职位为止。

卡门来到美国，自然将应用力学学派的治学理念和学术风格移植过来。总的

---

① [美]罗伯特·H.卡巩:《罗伯特·密立根的足迹》，方在庆译，东方出版中心1998年版，第105页。
② [美]罗伯特·H.卡巩:《罗伯特·密立根的足迹》，方在庆译，东方出版中心1998年版，第119页。

来看，卡门给加州理工学院古根海姆航空实验室带来两个新的特点：第一个特点是强调创造性的研究工作和出版物，第二个特点是不拘礼节。很显然，前者是卡门从哥廷根大学普朗特的流体力学研究所的氛围中自然而然带来的特点，它并非1920年代末至1930年代初美国工科院校常有的特点。这两大特点确立了加州理工学院古根海姆航空实验室的基本精神和风格。①

卡门非常重视年轻人才的培养，努力改变原来比较刻板的教学方式，尤其注意培养学生的创造性思维能力。他陆续为学生开设出一系列新课，如空气动力学、航空应用弹性理论、动力气象学基础等，讲授总是从基本概念出发，以提高学生运用科学原理的本领。最能体现他的人才培养精神和风格的，还是卡门从哥廷根引进的、极富特色的每周航空研究班讨论会（Aeronautics Seminar）。根据西尔斯的描述，讨论会从不间断，一般由卡门自任主席，如果他不在学院就由克拉克·密立根（Clark B.Millikan）主持。讨论会是古根海姆航空实验室每人简短地报告研究进展的场合，所有从事研究的教授、访问学者、得过博士学位的人和学生都定期做报告，至少每周一次，每人都被要求说明研究工作的进展情况。报告之后，由主席向系秘书玛·R.西尔斯口述对每个人所做报告的只有一句话的总结，一周或两周后，此人再被找来汇报时，系秘书把这句话向会议宣布。大家在讨论会上做研究进展报告，制定计划，分配设备和使用的时间，确定出版计划。所有在场的人都向做报告的研究人员提供建议和帮助。讨论会是航空实验室最为重要的学术活动，“全体教师一向都参加所有这些讨论会，占着前面几排，看起来一字不漏地听着。”对此，西尔斯特别写道：“这种会议的成功首先取决于主席及其同事们的广泛的兴趣、经验和判断；开诚布公地询问以及在老师和同事面前自觉暴露自己错误的精神也是需要的。主席的客观性和会议上友好的、不拘形式的气氛使得上述这些事情成为可能。”“研究会的确是令人愉快的：对于正在进行着的研究有着巨大的热忱，其中遇到的困难被当成是好的研究工作所必需的挑战。”由于讨论会营造出探求学问的良好氛围，大家深深“被与卡门一起工作的那种美好情景所吸引，每年都有世界领先的固体和流体力学家来到这里，或长或短地呆上一段时间。他们自然为航空研究生班讨论会和其他课外的系统报告提供很理想的人才库”。② 沃尔特·托尔缅（Walter Tollmien）、莱斯利·豪沃思（Leslie Howarth）、西德尼·戈尔茨坦（Sydney Goldstein）、卡尔·古斯塔夫·罗斯比（Carl-Gustav Rossby）、K.D.伍德（K.D.Wood）、查尔斯·萨德隆（Charles Sadron）等来自世界各地的优秀力学

---

①② William R.Sears and Mabel R.Sears. The Karman Years at GALCIT, *Annual Review Fluid Mechanics*, 1979, (11):1—10；威廉·R.西尔斯等：《GALCIT的卡门年代》，郑哲敏译，《力学与实践》1979年第1期。

家，经常聚集此地。另外，来自中国的钱学森、钱伟长、郭永怀、林家翘等也先后在1930年代后期至1940年代初期来到加州理工学院学习或研究。

在学术研究方面，卡门遵循克莱因的思想路线，以哥廷根为样板继续推进应用力学研究。他们围绕航空工业发展的需求，重视理论与实际、科学与技术、数学与应用科学密切配合，主张从复杂的扑朔迷离的问题中寻找出最基本的物理过程，然后运用简化的数学方法加以分析，开辟出许多具有重要意义的研究领域，为航空工业的突破提供了理论支持。卡门独立研究或与大家共同探讨，相互启发，携手在流体力学、固体力学以及喷气推进等领域取得一项又一项创造性成果。如与豪沃思和戈尔茨坦的临时合作中，卡门致力于湍流统计理论这样一个新的领域，并作出了自己的贡献；在攻克湍流摩阻和传热问题上，卡门也是很成功的，对于升力面理论和非定常机翼理论提出了新的处理方法与新的观点；和N.B.穆尔（N.B.Moore）一起，卡门开始了研究超声速流中细长体近似的一段很长的历史；与钱学森一起，提出了著名的亚声速流近似处理方法，即"卡门—钱公式"。另外，卡门还发现了跨声速流相似律和非线性小扰动方程，至今仍有许多空气动力学研究者从事这方面的研究。在固体力学方面，成就也毫不逊色。对由于在飞机上使用加筋、受力蒙皮结构而引起的问题，卡门与L.H.唐奈（L.H.Donnell）、塞克勒和他们的学生进行了实验和理论研究。卡门和钱学森，还在非线性屈曲理论方面作出了重要贡献。①与年轻人一起工作，让卡门迎来人生中最为辉煌、最富创造力的时期。

卡门还鼓励和支持对新兴事物的研究，马林纳、钱学森等人开展的火箭研究就是其中的一例。从他们"规模不大的实验和计算开始，他就深信火箭推进的重要性。他为他们的研究活动提供资金和场所，帮助他们把喷气助推起飞的想法推销给空军和海军"。② 正是在卡门的关心和扶持下，这支自发形成的"草台班子"，后来竟然不可思议地发展成为著名的喷气推进实验室（JPL）。在卡门和克·密立根的鼓励和支持下，他们还创建了航空喷气公司，后来发展成为一个巨大的企业，在导弹和空间飞行器的研发方面处于领导地位。

面向航空工业的实际需求是古根海姆航空实验室研究工作的最大特点，它有许多成果被广泛地应用于航空工业。那时，"蓬勃发展中的飞机工业使用新的动力装置和新型的航空结构正在向新的速度领域突进，它们的工程师们经常找卡门和GALCIT 请教及求助。"西尔斯回忆说："我们看到 GALCIT 所有的教授们都欢迎

---

①② William R.Sears and Mabel R.Sears. The Karman Years at GALCIT, *Annual Review Fluid Mechanics*, 1979, (11):1—10;威廉·R.西尔斯等:《GALCIT 的卡门年代》,郑哲敏译,《力学与实践》1979 年第1期。

这些接触，而且几乎毫无例外地报以热情和力量。并且 GALCIT 的全面研究计划受到巨大的影响。那时研究工作中的‘纯度’不成为准绳，许多 GALCIT 最深刻、最经得住时间考验的贡献来源于这种向急迫的实际问题发动攻击的愿望。”①卡门为道格拉斯公司的 DC-1 型飞机解决了因提高速度而发生颤振的问题，它采用了整流板，消除了形成振源的卡门涡列。为了提高抗弯刚度，卡门建议在金属板壳上加装加强筋，使 DC-3 型飞机成为第一架金属飞机。加州理工设有直径为 10 英尺的闭式回路风洞，为流体力学研究提供了重要的实验设施，还承担工业界的试验。许多飞机公司经常使用这个风洞做测试，并按照使用时间付款，还为模型车间人员的服务工作向加州理工提供补偿。因而，这个风洞为古根海姆航空实验室提供了不菲的收入，卡门可以使用这些收益支付来访者的薪水、职工的夏季工资、旅费和设备等。

短短数年，凭借在应用力学领域取得的突破性成就以及在航空工业界积累的良好声誉，加州理工学院古根海姆航空实验室的学术地位扶摇直上，成为世界著名的航空科学研究与高级人才培训中心。此外，卡门还发起并参与国际上许多重要航空航天组织的创立，1946 年卡门出任国际力学界最重要的、最有影响力的 IUTAM 的名誉主席。

在加州理工学院，卡门把科学与工程结合、理论与实验结合、数学与应用科学结合的理念发挥到了登峰造极的程度。在研究题目的选择上，他始终坚持将研究兴趣聚焦在与工程实际有着密切联系的科学问题上面。在研究方法上注重科学实验，并崇尚用最直观和简单的方法直接抓住问题的实质和核心。他坚定不移地相信，一个合理的理论不仅应在逻辑上正确无误，而且它应接近事实，并能被恰当的实验验证。这一点，诚如西尔斯所言：“卡门本人是理论家，但他坚持理论研究必须联系实验观察，而且要受实验观测的指导。理论上的结论必须用实验结果来对照，理论分析中需要的常数必须由实验来提供。在这个意义上，在卡门的哲学观点中，实验研究好像是理论研究的附属物，而不是相反。但是，当与实验结果不符或当实验揭示了新现象的时候，卡门具有不可思议的能力提供新的理论和新的数学模型。”②克・密立根曾这样评价卡门的独特贡献：一、提出和阐释了关于一些迄今为止仍很难解释的、神秘的现象的新设想，也就是创造性科学思维达到了最高的水平。二、使原本复杂并且无法理解的事物得到了澄清，变得简洁并易于理解。常常通过构建数学模型和简化原则，让非常复杂的现象能够得到解释。三、找到复杂工

①② William R.Sears and Mabel R.Sears. The Karman Years at GALCIT, *Annual Review Fluid Mechanics*, 1979, (11): 1—10；威廉・R.西尔斯等：《GALCIT 的卡门年代》，郑哲敏译，《力学与实践》1979 年第 1 期。

程问题中的重要物理要素，并给出合理而简单的近似解决方法。[1]总之，卡门堪称继承和发扬哥廷根应用力学学派精神的典范，真正做到了将毕生精力都投入到填补科学理论与工程实际之间的鸿沟之中。

1930 年代至 1950 年代，"卡门科班"达到鼎盛时期，人才辈出，硕果累累，成为克莱因、普朗特开创的应用力学学派诸多支脉中最具影响力的一支。不断从加州理工学院古根海姆航空实验室走出的学生，将卡门的学术理念、风格和标准带进世界航空、航天、化工、机械工程等学术和工业领域，有的成为著名教研中心和产业机构的领导人。他们在各个领域建功立业，对技术科学和工程技术产生了深刻的影响，为以航天、信息、核能为代表的第三次产业革命的爆发作出了永载史册的贡献。

① Hugh L.Dryden. Theodore von Karman, *Biographical Memoir of the National Academy of Sciences*, Washington D.C.1965.

第二章　钱学森的技术科学之路

1930年代后期至1940年代初期，钱学森在冯·卡门的指导下步入应用力学领域，迅速在高亚声速和跨声速空气动力学、喷气推进领域取得了杰出成就，一跃成为世界应用力学和航空工程界的翘楚。作为应用力学发展的亲历者，钱学森经历了空气动力学许多分支学科的建立、发展，以及推动飞机突破声障、热障，实现超声速飞行的过程。并且，他非常关注二战及战后世界喷气技术、雷达技术和核能技术的发展情况。从这些影响人类历史进程的重大科学技术突破中，钱学森提炼总结出“技术科学”的概念与思想。此后，钱学森以此作为研究工作的指导理念，开创出物理力学、工程控制论这两门新的技术科学，成为举世公认的技术科学权威与技术科学思想集大成者。追寻钱学森技术科学之路，是研究和发掘钱学森技术科学思想内涵的基础。

第一节　交通大学的高材生

1.1　奠定科学知识与思想基础

钱学森，1911年12月11日生于上海。1929年从北京师范大学附属中学高中二部(理工科)毕业，并以在所有应考者中第三名的优异成绩考入铁道部交通大学上海本部机械工程学院，专业为铁道机械工程。交通大学上海本部由近代洋务运动官僚、实业家盛宣怀1896年创办，初名“南洋公学”，以培养高端法政人才为目标。1906年改隶清政府邮传部以后，学校转向以培养交通、实业建设人才为主的现代工科大学方向发展。1912年，易名为交通部上海工业专门学校。1921年，北

洋政府交通部将学校与同属于交通部的唐山工业专门学校、北京铁路管理学校和北京邮电学校合并为一所大学，定校名为交通大学。本校随之更名为交通大学上海学校。1928 年 11 月，学校移归新增设的铁道部，成为交通大学上海本部。到 1930 年代初，交通大学成为中国办学水平最高的国立大学之一，被教育家蔡元培誉为“全国造就建设人才最高学府”。①

当时，交大以“养成三民主义文化之交通建设专才为宗旨”。②机械工程学院“以造就各项机械工程专门人才，适应国内交通及实业等建设之需要为宗旨”。学制四年，一、二、三年级不分专业，四年级分设铁道机械、工业机械、自动机械三门，其中的铁道机械门“注重铁道机务人才之训练如铁道设备、机车计划、车辆设计等。”③在课程设置上，一年级多半为数学、物理、化学等自然科学课程；二年级偏重专业基础课程即工程学的基本训练；三年级注重较为高深的专业理论课程如热力工程、机械设计、热工试验、高级金工等；四年级的铁道机械门注重铁道设备、机车计划、车辆设计等专门的应用课程。在教学内容和手段上，强调“学理与手艺并进”，要求多做实验，多做实习参观，试验、实习和设计、计划课程约占全部课程的 40%。④本来，铁道机械工程专业是为培养铁道工程师而设立，然其培养理念和模式却是基础科学与工程实践能力并重。这种模式乃借鉴美国麻省理工学院、康奈尔大学等高校教学经验的结果，改变了国内工科院校热衷于传授工程实践知识，不重视基础理论和数学的作法，在当时属于一种先进的工程师培养方案。对此，钱学森回忆说，1935 年秋到麻省理工学院航空工程系学习，发现“上海交大的课程安排全部是抄此校的，连实验课的实验内容都是一样的。上海交大是把此校搬到中国来了！因此也可以说上海交大在当时的大学本科教学是世界先进水平的。”因为，“三十年代麻省理工学院的工科教育安排是本世纪初的模式，对培养一种成型的工程技术的工程师是有效的”。⑤

其时，交大一些著名教授的教育理念比较先进，顺应了科技与工业互动发展的潮流。如科学学院院长、物理学教授裘维裕认为，大学的使命“不是教学生一种吃饭的本领，或者解决学生的出路问题”，而是“要养成学生一种健全的人格，训练一

---

① 蔡元培：《在孙科就任交通大学校长典礼上的演说》，载蔡元培研究会编：《蔡元培全集》（六），浙江教育出版社 1997 年版，第 333 页。

② 《交通大学暂行组织大纲（1929 年 7 月）》，载《交通大学校史资料选编》（第二卷），西安交通大学出版社 1986 年版，第 23—26 页。

③ 《机械工程学院学程》，载《交通大学校史资料选编》（第二卷），西安交通大学出版社 1986 年版，第 179 页。

④ 《交通大学校史》编写组：《交通大学校史》，上海教育出版社 1986 年版，第 285—292 页。

⑤ 钱学森：《回顾与展望》，载《上海交通大学一九三四级通信特刊（毕业五十五周年纪念专辑）》，1989 年，第 48—49 页。

种相当的科学思想，有了这种训练，毕业以后，无论什么工作，就都可以担负，都可以胜任。”倘使工科大学毕业生具有正确思想的能力，他就能随时随地获得各种需要的工程学识，倘使他没有发展他科学习惯的思想，无论他有多少工程知识与经验，遇到实际问题时也无法解决。他非常推崇美国一位学者关于工科教育中数学用途的观点，即数学在工程上的应用不能限于用公式来做简便计算方法和应用数学观念来读工程科学里的基本公式，更重要的是利用数学来帮助发展思想的能力，“把数学做一种真确思想的工具，把基本物理原理来解决工程上的问题。”由此出发，他主张，大学的课程“要养成学生有科学习惯的思想。这种思想，可以用数学，物理及力学的基本原理解决各种问题来训练”。[①]在他们看来，基础科学是一切应用科学的基础与源泉，是学习工程的基础，基础科学功底宽厚，任何工程都不难学习。

这些思想与理念成为交大教学改革的指导方针。参考麻省理工等院校的经验，结合我国实际，交大对基础科学课程进行了重大调整。而且，裘维裕、周铭等有名望、有学识的教授亲临教学第一线，担任基础课程讲授或实验指导。为了适应教学改革需要，他们还自编英文教材《大学物理纲要》(*An Outline of College Physics*)。

在教学方法上，他们认为授课不是一种灌输，而是培养学生对知识、对学术、对真理的兴趣，“不仅仅要使学生理解书本上的知识，会做习题，记住公式”，而且要学生“学会分析、综合、归纳、演绎、概括、判断、推理和论证等科学逻辑思维能力，扩大自己的思想认识领域，培养独立思考能力，亦即举一反三，触类旁通，手脑并用，能够解决新的实际问题”。因此，要求学生在平时多做练习，认真做好实验，养成良好的习惯。一年级学生，“通过裘维裕先生物理课的循循善诱和严格要求，培养了理工科知识的自学能力和独立思考能力，出现了‘初登知识殿堂’的良好感觉，从而使学习后继专业基础课和专业课更加自觉和努力。”[②]裘维裕的授课还富有想象力，密切联系高等数学的应用，使同学们惊奇地发现高等数学并不是纸上谈兵，而是一种能解决实际问题的锐利武器，大大开了眼界。在物理实验教学方面，也有突出的特点。周铭教授设计的物理实验，数目多，要求严，重视实际操作。另外，电机、机械工程学院的数学课程“微积分”“讲授函数极限及微分积分之基本观念，并详论微分积分之方法，无穷级数及几何上物理上各种应用”；“微分方程式”“专授各种最普遍之常微分方程与偏微分方程式，而尤侧重于物理与工程方面之应用”。[③]在教学过程中，也是既重视基础理论又重视结合工程学科的应用。这些严谨而灵活的教学方式在钱学森身上

---

① 裘维裕：《科学思想的训练，应当是科学的一种使命》，《交大季刊》1933年第10期。

② 刘其昶：《上海交大与中国近现代物理》，《文汇报》2006年4月8日。

③ 《数学系学程说明(1936)》，载《交通大学校史资料选编》(第二卷)，西安交通大学出版社1986年版，第106—112页。

得到了恰如其分的体现，后来连冯·卡门也对他的数学、物理能力赞赏有加。

在专业基础课程方面，以钟兆琳、陈石英教授的教学最具代表性。“教电机工程的钟兆琳教授和教热力学的陈石英教授都非常重视理论根底”，①并且一再教导同学们“理论必需为工程实践服务”。②他们认为，向学生传授思想方法比具体讲授机器的设计与制造更为重要，反对单纯凭经验搞工程技术，主张教会学生行之有效的技术原则。陈石英教授热力工程、机械工程实验等课程。热力工程课程讲授汽体及蒸汽热力学，各种实用循环及对于压气机、制冰机、内燃机、蒸汽机、汽轮机的应用，蒸汽表及蒸汽图的用法，热动机的实际情况，马达的各种损失及其减缩损失寻常所用的方法等。③在实验技术和实践环节上，机械工程学院各专业的学生要求读两年的机械工程实验，由陈石英教授开出相应的60多个实验。他对学生做实验要求十分严格，“带领学生做性能试验时，往往一次四个小时还不够，他仍坚守岗位，一直要等到按规定符合所有要求和所得数据齐全、合理，方准下课，不许改期补做。对实验报告也有规定”。这些实践环节，“紧张认真程度，并不亚于课堂的理论学习及随后的严格考试。”④钱学森的一份《热机试验报告》，长达百余页，内容完善，且具创见，获得满分100分，一直被传为佳话。钟兆琳教授采用循循善诱、形象生动、引人入胜的启发式教学法，对基础理论和课程要点反复阐明，化难为易，把学生自然而然地导入境界，深受学生欢迎。正如他的学生所总结的，“他（钟老师）先把一个基本概念（特别是较难理解的概念）不厌其烦地详细而反复地讲清楚，当同学们确实理解后，他才提纲挈领地对书本上其他内容作简要的指导，随即布置大家去自学。令人信服的是，每当先弄清基本概念后再去消化书本上的知识，会发觉既清楚又易懂，而且领会深，记得牢”⑤，经过融会贯通，便可以触类旁通。他还重视理论与实践结合，主张把教育和生产实际结合起来，把科学和教育的发展作为工业发展的前导，并实行双向互动。⑥对于这两位教授的授课，钱学森回忆说：“专业基础课中给我教育最深的是陈石英先生，他讲工程热力学严

---

① 钱学森：《致钱学敏的信（1994年2月7日）》，载《钱学森书信集》(8)，国防工业出版社2007年版，第58—61页。

② 钱学森：《致钱学敏的信（1993年9月12日）》，载《钱学森书信集》(7)，国防工业出版社2007年版，第357—358页。

③ 《机械工程学院学程(1936)》，载《交通大学校史资料选编》（第二卷），西安交通大学出版社1986年版，第179—193页。

④ 瞿钰：《回忆机工实验》，《西安交通大学校刊》1996年9月。

⑤ 漆姚敏：《钟兆琳——电机工业的拓荒者和教育家》，载王宗光主编：《老交大名师》，上海交通大学出版社2008年版，第118—127页。

⑥ 焦垣生：《钟兆琳》，载《科学家传记大辞典》编辑组：《中国现代科学家传记》（第三集），科学出版社1997年版，第740—744页。

肃认真而又结合实际，对我们这些未来工程师是一堂深刻的课。”“还有许多老师如电机工程的钟兆琳先生，对我的教育，我也是十分感谢的，师恩永志于心！”[①]两位教授重视培养学生的理论根底，注意把严密的科学理论与工程实际结合起来的方法，让钱学森树立了理论必须为工程技术服务的理念。总之，在名师们的熏陶和启发下，钱学森受到了理工结合的严格训练，为日后从事技术科学工作打下了科学、工程知识与思想基础。

1.2 转攻航空科学

1930年代初，中日关系日趋恶化，“九一八”、“一·二八”事件接踵而至。日寇挟现代武器长驱直入，国土沦丧，生灵涂炭，中华民族再次遭遇严重的生存危机，激起了民族自觉自救的怒潮。科学界有志之士积极呼吁重视发展国防科技，制造利器以御外敌，高教界也大力提倡理工等实用科学的建设。鉴于飞机是加强国防的有力武器，一时间“航空救国”、“飞机救国”成为科学界、高教界讨论的热门话题，各国立大学纷纷着手筹备航空科学的教学与研究。在留学生选派方面，中美庚款等留学生考选机构增加了航空工程等实用科学专业的学额，以应国家急需。这些措施为有志于献身国防建设的理工科学生打开了报效祖国的方便之门，激起了他们的热情和兴趣。

在交大求学期间，钱学森参加过爱国学生组织的反日游行运动，对国家民族的危机有了清醒的认识。特别是在“一·二八”事件中，他目睹了日寇轰炸机给上海造成的悲惨状况。当时的中国空军处于草创阶段，实在无法担负起守土卫国的重任。在民族处于生死存亡的紧要关头，爱国学生不可能袖手旁观，都在苦苦思索，寻求用自己的知识为国家效力的途径。钱学森意识到空中力量将是决定一国军事力量强弱的关键，而且政府和高教界正积极发展航空工业。在这种社会氛围下，本应成为铁道工程师的钱学森将国家需要与个人兴趣结合起来，利用富余时间研读航空科学，以求日后能有机会为国防建设贡献绵薄之力。

钱学森在交大学习期间，刻苦攻读，成绩出众，1934年毕业时总平均成绩89.10，[②]名列机械工程学院第一。为此，黎照寰校长发给钱学森奖状，表彰他“潜心研攻，学有专长”。而且，钱学森善于自学，教授过钱学森水力学课程的金悫教授回忆说：“他接受能力强，反应快！”“总是在图书馆里钻研、攻读，掌握了课堂上没讲过的知识，他深懂学海无涯，攫取知识务求渊博。”[③]更为重要的是，钱学森重点专

---

① 钱学森：《回顾与展望》，载《上海交通大学一九三四级通信特刊(毕业五十五周年纪念专辑)》，1989年，第48—49页。

② 《第十三届机械工程学院毕业生成绩表》，上海交通大学档案馆，案卷号：LS7-102。

③ 陈怡芳：《钱学森的考卷》，《上海交大报》1980年7月5日。

攻航空科学。如1957年钱学森的大学同学王建绪在致钱学森的信中说:"他在学校时代,课外时间已专攻航空工业了,他不但聪明,而且术业有专攻,再加钻研和有恒劲,可能是他成功的秘密罢。"[①]

当时,交大还没有开设航空工程专业,1935年才在机械工程学院四年级自动机械组设立飞机组,1942年在重庆正式成立航空工程系。但是,这并不意味着钱学森在交大未受过航空科学方面的训练。因为,航空工程学本属于机械工程学的一个专门领域,它的基本知识与机械工程学大多是相通的,早期的航空工程专业大多是从机械工程学中派生出来的,如国内在航空工程教学与研究方面走在最前列的清华大学便是如此。可以说,学习航空工程所必备的专业基础课程,钱学森在交大均修习过,而且机械工程学院1931年下半年开始开设航空工程课程,由外籍教师 H.E.Wessman 讲授。钱学森在四年级时选修了航空工程,两学期平均成绩为90,名列选修该课程的14人之首。[②]

另据钱学森回忆,他常在学校图书馆里钻研、攻读,"对图书,特别是科技书,那真是如饥似渴,什么科目的书都看。我是学机械工程的,常去找有关内燃机的书,特别是讲狄塞尔(Diesel)发动机的书来读,因为它热效高。后来我的专业是铁道机械工程,四年级的毕业设计是蒸汽机车。但是到图书馆借读的书绝不限于此,讲飞艇、飞机和航空理论的书都读,讲美国火箭创始人戈达德(R.Goddard)的书也借来看。我记得还借过一本英国格洛尔(H.Glauert)写的专讲飞机机翼气动力学的书来读,当时虽没有完全读懂,但总算入了气动力学理论的门,这是我后来从事的一个主要专业"。[③]格格尔的书即空气动力学名著 *The Elements of Aerofoil and Airscrew Theory*(《机翼与螺旋桨原理基础》),该书1926年出版,后来多次重印、再版。它以浅显的方式向读者介绍机翼与螺旋桨原理,前五章简要介绍学习机翼理论所必备的力学知识,六至十四章讨论在二维空间上翼面的升力、空气粘性作用及其对翼面的影响、有限跨度翼面原理,最后三章讨论螺旋桨原理。[④]这本名著将钱学森领入空气动力学的殿堂。

钱学森不仅努力学习,而且善于思考,撰写过多篇关于航空、火箭方面的"习作",如"气船与飞机之比较及气船将来发展之途径"、"火箭"等。总体上看,这些文章内容比较粗浅,属于科普水平。不过,其中的"火箭"一文充满创造力和想象力,

---

① 《王建绪致钱学森的函(1957-04-27)》,上海交通大学钱学森图书馆,案卷号:RW-钱学森-2057。

② 姜玉平:《钱学森在交大时期对航空与火箭的探索》,载《钱学森研究》,上海交通大学出版社2007年版,第97—108页。

③ 钱学森:《图书馆与钱学森》,《校友之声》1997年第1期。

④ H.Glauert. *The Elements of Aerofoil and Airscrew Theory* (*2nd Edition*), Cambridge University Press, 1948.

闪耀着智慧的火花，反映出他将人生的兴趣融化在知识探索之中，为后来从事火箭研究埋下了思想与兴趣的种子。①此外，他还具有相当不错的音乐素养，赴美留学之前发表过一篇名为“音乐和音乐的内容”的文章。②这才有了进入加州理工学院的第二年，钱学森结识热心火箭探索的研究生马林纳，共同享有火箭、音乐和政治兴趣，进而结成良友，共同走上了火箭研究之路。

1934 年，钱学森从交大毕业并考取第二届中美庚款留学生，专业是飞机设计。据清华大学留学生规则规定，公费生录取后，须“留国半年至一年，作研究调查或实习工作，以求获得充分准备，并明了国家之需要”。③依照此规定，钱学森在清华大学王助、王士倬的指导下在机场实习。随着航空理论知识与实践经验的增加，钱学森对飞机有了更为深入的认识，他说：“1934 年夏我报考清华公费留美，改行了，要学航空工程。录取后，在国内杭州笕桥及南昌的飞机工厂见习了几个月，算是入门。”④次年 8 月，钱学森赴美国麻省理工学院深造。

第二节　师从天才——一个应用力学翘楚的升起

2.1　冯・卡门的高足

经过一年的学习和研究，1936 年夏钱学森在麻省理工学院航空工程系完成论文《湍流附面层的实验研究》，获得航空工程硕士学位。即将去做航空工程师的钱学森，准备去飞机制造厂实习，然而美国的飞机制造厂并不欢迎中国学生。这让钱学森走到了一个进退两难的关口，他很想去研究航空力学理论，但他的父亲钱均夫主张经世致用，对航空力学又不甚了解，不赞成他去研究理论性的学问。令钱学森感到欣慰的是，他未来的岳父、军事理论家蒋百里此时刚刚结束欧洲考察之旅，顺便来到北美。听了钱学森的想法和打算，蒋百里表示全力支持，并答应回国后说服他的父亲，因为他认识到德国强大的空军是建立在先进的航空力学理论基础之上的。于是，钱学森做出了具有战略意义的人生抉择，毅然决定转向航空力学研究。

1936 年秋，这位沉静稳重、好学深思的东方青年打起行囊，来到加州理工学院

① 姜玉平：《钱学森在交大时期对航空与火箭的探索》，载《钱学森研究》，上海交通大学出版社 2007 年版，第 97—108 页。

② 钱学森：《音乐和音乐的内容》，《浙江青年》1935 年第 1 期。

③ 《清华大学考选留美学生规程(1933)》，西安交通大学档案馆，案卷号：1252。

④ 钱学森：《回顾与展望》，载《上海交通大学一九三四级通信特刊(毕业五十五周年纪念专辑)》，1989 年，第 48—49 页。

航空工程系，成为冯·卡门的弟子。就在前一年，卡门参加了在意大利举行的第五届 Volta 会议，与会的应用力学家讨论了“航空中的高速问题”，这次会议成为迈向超声速时代的里程碑。会上，卡门宣读了“可压缩流体中的阻力问题”（*The Problem of Resistance in Compressible Fluids*）的论文，讨论了可压缩性对摩擦阻力的影响，采用假设建立了摩擦系数的变化规律。①此后，他的学术兴趣转向为超声速飞机设计创造新的力学理论。钱学森来到加州理工学院后，卡门就建议他研究与高速飞行直接相关的空气可压缩效应问题。

其时，卡门正把先进的学术理念带到美国，并在美国大力宣传应用数学和应用力学的观点，成为应用力学界最受尊敬的教授。从工程实际中提取理论研究的对象，是卡门的基本主张，这要求具备宽厚的数学、物理等理论科学功底。虽然在交大学习成绩非常优秀，但以哥廷根学派对理论功底的要求而言，钱学森仍然存在不少欠缺。工欲善其事，必先利其器。在卡门的影响下，钱学森意识到需要进一步掌握数学、物理学的高深理论。为此，除了学习航空工程和力学方面的课程外，钱学森选修了复变函数、积分方程等数学课程，还有相对论、统计物理、量子力学等物理课程以及分子结构、量子化学等化学课程。据他晚年的回忆：“我本来是航空系的研究生，我的老师鼓励我学习各种有用的知识。我到物理系去听课，讲的是物理学的前沿，原子、原子核理论、核技术，连原子弹都提到了。生物系有摩尔根这个大权威，讲遗传学”，“化学系的课我也去听，化学系主任 L.鲍林讲结构化学，也是化学的前沿。……L.鲍林对于我这个航空系的研究生去听他的课，参加化学系的学术讨论会一点也不排斥。他比我大十几岁，我们后来成为好朋友。”“加州理工学院就有许多这样的大师，这样的怪人，决不随大流，敢于想别人不敢想的，做别人不敢做的。”②学习这些课程，钱学森得以接触各个学科的大师，受到他们潜移默化的影响。而且，他学得“很出色”，以致引起一些教授的重视，理论物理学家保罗·爱泼斯坦就对钱学森产生了深刻的印象。③通过在科学大师指导下系统而严格的训练，钱学森奠定了宽厚的理论科学基础。这使他后来能借助深厚的数学、物理、化学背景，对许多工程技术问题提出通盘性的思考。

卡门采用讨论班等方式，锻炼研究生的创造性思维，引导大家登堂入室，深窥应用力学之堂奥。在讨论班上，钱学森直接领略到卡门善于抓住物理现象本质的

---

① Carlo Ferrari. RECALLING THE Vth VOLTA CONGRESS: High Speeds in Aviation, *Annual Review Fluid Mechanics*, 1996, (28):1—9.

② 钱学森:《谈科技创新人才的培养问题(2005 年 3 月 29 日)》,钱永刚提供。

③ [美]冯·卡门、李·爱特生:《冯·卡门——航空与航天时代的科学奇才》,曹开成译,上海科学技术出版社 1991 年版,第 373 页。

风格，掌握了从工程实践提取理论研究对象以及如何将理论应用到工程实践的原则与方法。对此，他回忆说，卡门“一再强调理论必须真正解决实际中的关键问题。我在那里是搞应用力学理论研究的，但总是与搞同一方面实验工作的人结成好友，天天去看实验情况，交换看法。”[①]在卡门拨云见日的启发和指点下，钱学森全面师法科学与技术结合的思想方法，把深厚的数理功底与工程实际结合起来，达到了一般只受过狭隘的专业训练、画地为牢的学者无法企及的高度与境界。在做博士研究生期间，钱学森表现出了非凡的科学才华，得到卡门的高度评价：“我发现他想象力非常丰富，既富有数学才华，又具备将自然现象化为物理模型的高超能力，并且能把两者有效地结合起来。他还是个年青学生时，已经在不少艰深的命题上协助我廓清了一些概念。我感到这种天资是少见的，因此，我俩便成了亲密的同事。”[②]

1930 年代初，飞机的平均时速达到了三、四百公里，而且人们还在为进一步提高飞行速度而努力。然而，飞行速度的提高在技术上遇到了极大的困难。当飞机以接近于声速的速度飞行时，阻力剧增，升力骤降，头重尾轻，舵面失灵，甚至机翼、机身发生强烈振动。也就是，跨声速流的复杂性成为摆在航空力学家和航空工程师面前一大难以逾越的屏障，人们形象地称之为“声障”。当时，空气动力学与飞机设计的结合以及发动机技术的进步使活塞式飞机已近乎达到了性能的极限。在较低的速度下，利用空气不可压缩的假设，可以简化理论计算，计算结果也能保证一定的精度。如果飞行速度提高，必须考虑空气压缩性对飞行器性能的影响。飞行器达到较高的速度时，新的空气动力学现象产生了，这是由空气的可压缩性引起的。高速空气动力学就是在这种情况下产生的，它主要研究空气的可压缩性，研究结果是进入超声速时代的理论基础。

当时，航空工业界发展高速飞行的需求，给航空力学界提出了两大课题：一是当飞机的飞行速度接近声速时，空气的压缩对飞行器的性能有什么样的影响，它们之间的定量关系是怎样的？二是寻求超声速飞行器的理论指导与技术设计。关于这两大课题的研究，迅速成为空气动力学领域的热门方向。在卡门的鼓励和指导下，钱学森等聚集在加州理工学院古根海姆航空实验室的年轻力学研究人员为攻克这两大难题进行了艰苦的攻关。经过三年多紧张而高效的探索，1939 年钱学森完成博士学位论文《可压缩流的流动以及反作用力推进》。论文包括 4 项内容，即“可压缩流体边界层”、“有攻角旋转体的超声速绕流”、“将 Tschapligin 变

---

① 钱学森：《致钱学敏的信（1993 年 9 月 12 日）》，载《钱学森书信集（7）》，国防工业出版社 2007 年版，第 357—358 页。

② ［美］冯・卡门、李・爱特生：《冯・卡门——航空与航天时代的科学奇才》，曹开成译，上海科学技术出版社 1991 年版，第 372—373 页。

换应用于二维亚声速流动”以及与同学马林纳合作完成的“以连续脉冲方式推进的探空火箭的飞行分析”。①

博士论文的第一部分“可压缩流体边界层”，分为两大节，内容涉及高速飞行体受到的阻力和表面热效应。第一节研究可压缩流体中的边界层理论，用逐次逼近法把众所周知的不可压缩流的方法推广到大马赫数的情况，讨论了可压缩流对表面摩擦的影响，估计了喷气推进器及火箭的波阻与摩擦阻尼之比。第二节讨论了热流与冷表面以及热流与冷物体之间的热传递，作为马赫数的函数给出了阻力和热传递之间的普遍关系，得到了有关阻力和热效应的新结论。由于没有计算器，钱学森对热传导提出了复杂的数学计算，用一种新的近似值连续算法精确计算出飞机在高速飞行时受到空气阻力所产生的热效应。这篇论文的结论非常重要，从理论上预见了实现高速飞行将面临的一大障碍，也就是所谓的“热障”。“热障”理论是所有航空飞行器设计的指导理论，即须对飞行体表面采取有效的冷却或防热措施，才能实现高速飞行。该文 1938 年 1 月 26 日在第六届国际航空协会年会上发表，随后在《航空科学》杂志 1938 年第 5 卷刊出，后来又被收入《冯·卡门文集》第三卷。

博士论文的第二部分“有攻角旋转体的超声速绕流”，首先从可压缩流线性运动方程获得了旋转非圆柱体在超声速流中的升力估计，证明了任何确定马赫数下升力正比于物体的攻角，详细计算了锥体的情况。

博士论文的第三部分“将 Tschapligin 变换应用于二维亚声速流动”，主要研究飞机在高速飞行时如何计算翼表面压力的分布状况。该文发表时的题目是“可压缩流体的二维亚声速流动”，刊于《航空科学》杂志 1939 年第 6 卷，内容远比写入博士论文的内容丰富。当时，航空界已有的计算方法只适用于机翼较薄或飞行速度较慢(低于 0.5 马赫)时的情况，不适用于接近声速时的情况。如 Demtchenko 和 Busemann 理论只对小于 1/2 声速的流体给出了近似结果。卡门提出这个命题，并且凭着对物理问题的洞察力，建议钱学森在求解变换后的线性方程时，不用驻点处的切线而改用来流状态点处的切线近似来代替等熵关系曲线，可能会得到更好的结果。钱学森采用来流状态点处的切线近似，果然得到了更为精确的结果，而且可以把适用范围扩大到高亚声速的流动。由此，师徒二人共同解决了这个航空力学领域的关键问题，提出了著名的“卡门—钱学森公式”。这个公式可以比较精确地估算出翼型上的压力分布，还可估算出该翼型的临界马赫数，成为航空科学史上

① 凌福根编：《钱学森论火箭导弹和航空航天》，科学出版社 2011 年版；谈庆明：《钱学森对近代力学的发展所做的贡献》，载庄逢甘、郑哲敏主编：《钱学森技术科学思想与力学》，国防工业出版社 2001 年版，第 22—31 页。

闪闪发光的一页。在二战期间及战后很长一段时间里，它被航空工程师广泛应用于飞机翼型的设计，对高速飞机的设计工作帮助甚大。一位在工程领域卓有成就的退休工程师指出："现代电脑问世前，每个人都必须应用冯·卡门与钱氏公式"。①

火箭是人们从幻想开始的，起初的研究者大多为业余爱好者。1903 年，俄国人齐奥尔科夫斯基发表世界上第一部喷气运动理论著作《利用喷气工具研究宇宙空间》，提出了液体推进剂火箭的构思和原理图，并推导出在不考虑空气动力和地球引力的理想情况下，计算火箭在发动机工作期间获得速度增量的公式，为研究火箭和液体火箭发动机奠定了理论基础。此后，人类对火箭进行了大量的探索。1926 年，美国人戈达德以在马萨诸塞州成功发射第一枚液体火箭而闻名于世，从而奠定了开路先锋的地位。其后，戈氏虽然成就不断，但是将其沉默寡言、性格内向的个性带进了火箭研究，很少发表他的研究工作、交流研究资料，致使他的研究工作影响比较有限。更为致命的是，那时的火箭研究采取的是试错法，缺乏合适的科学理论支持。即使到了 1930 年代初，火箭研究还处于萌芽阶段，它"在人们心目中是不现实的玩艺儿，甚至在科学上也毫无研究价值"。在科学界看来，"火箭著作不过是一种科学幻想小说而已。由于火箭发动机性能试验结果和实际空间飞行的要求相去太远"，"根本无法引起科学界人士的重视"。②即便如此，还是有两个国家的官方对火箭产生了浓厚兴趣，并给予重视和支持。这就是德国的布劳恩团队与俄国的科罗廖夫团队，他们在各自军方的支持下秘密开展液体火箭的专业化研制。除了具有深厚的火箭理论研究传统外，这两个国家的军事部门认为火箭能比大炮拥有更大的弹药运载量和射程，具有重要的军用价值。③当然，火箭推进在当时还是另一种可能实现超声速飞行的方法。

在卡门的鼓励和支持下，1937 年钱学森加入马林纳等人自发组织的火箭研究小组，在其中承担理论研究任务，为小组设计和改进小型液体推进剂火箭，还对发动机的热力学特性进行理论分析。他们发射了一些自制的小火箭，对理论研究的一些结论进行验证。这个被人戏谑为"自杀俱乐部"的研究小组，就是著名的 NASA 喷气推进实验室（JPL）的前身，未来美国火箭诞生的摇篮。1938 年，钱学森与马林纳合作发表"以连续脉冲方式"推进的探空火箭的飞行分析一文，探讨和论证了逐次推进的方案，即采用硝化棉一类的固体火药作为推进剂快速燃烧排气

① [美]张纯如：《中国导弹之父钱学森之谜》，张定绮、许耀云译，台湾天下文化出版有限公司 1996 年版，第 137—138 页。

② [美]冯·卡门、李·爱特生：《冯·卡门——航空与航天时代的科学奇才》，曹开成译，上海科学技术出版社 1991 年版，第 282—286 页。

③ [美]T.A.赫彭海默：《倒计时——航天器的历史》，朱卫国、向小丽译，上海科学技术出版社 2006 年版，第 1—35 页。

而获得脉冲式推力的方案，可以到达距离地面 30 千米的高度，能够满足探空火箭进行观测的需要。这篇论文是博士论文的第四部分，共有四节：第一节给出了连续脉冲推进的物体在真空中垂直飞行能达到的高度和精确求解方法；第二节分析了重力加速度随海拔高度变化对探空火箭飞行性能产生的影响；第三节用无量纲参数和系数给出了大气中飞行的探空火箭基本性能方程，并讨论了参数的物理意义；第四节把以上理论应用到连续脉冲推进探空火箭是重加载固体燃料火箭发动机的具体特例。

钱学森在博士研究生期间取得的研究成果，在亚声速流场的精确计算以及超声速空气动力学方面具有重要的价值，表明他从事的是主流学术方向的研究，正在进入世界应用力学发展的前沿。

2.2 应用力学界的翘楚

获得航空与数学博士学位后，钱学森结束三年的学徒生涯，留校任教，任助理研究员，成为卡门亦徒亦友的合作者。钱学森以追赶卡门这样的大师为目标，继续沿着理论与实践结合的应用力学道路，在薄壳稳定理论、超高速及跨声速空气动力学以及喷气推进等领域进行探索，做出了许多开创性成就，其中有些工作堪称空气动力学发展史上的经典。

钱学森与卡门合作，开展薄壳失稳问题的研究，这项研究属于固体力学范畴。当时，二战鏖战正酣，交战各国为了取得空中优势，正加紧设计和制造全金属薄壳飞机。薄壳结构强度高而重量轻，当其所受载荷超过一定数值时，壳体就会发生皱瘪而失效，这就是屈曲现象。飞机设计师需要计算发生屈曲的临界载荷值，但经典线性理论给出的数值远高于试验值，只能依赖从相当分散的试验数据中整理得到的经验关系。为了解决上述矛盾，理论上必须考虑大挠度的影响，但在数学上遇到了求解非线性方程的困难。在研究这个问题之前，钱学森对前人工作做了系统的总结，认为应该从考虑有限挠度的弹性屈曲理论入手，采用能量法求取屈曲临界载荷。①钱学森首先研究球壳失稳问题，1939 年 10 月与卡门合作完成“球壳外压屈曲”一文。他们认为，经典理论之所以失败，在于没有考虑到在加载过程中球壳除了保持球形位形外，还可能存在位能更低的其他位形。受外界干扰时，球形位形会跃变到位能较低的某个位形。所以，有必要区分经典线性理论所给出的“上”屈曲载荷以及壳体发生有限变形而屈曲的“下”屈曲载荷。前者可以在试验中小心避免

① 谈庆明：《钱学森对近代力学的发展所做的贡献》，载庄逢甘、郑哲敏主编：《钱学森技术科学思想与力学》，国防工业出版社 2001 年版，第 22—31 页。

不对称等初始缺陷而达到，而设计所需的临界载荷只能是后者。这样，他们提出了计算屈曲临界载荷的能量跃变准则，用此准则计算得到的“下”屈曲载荷值和试验值很接近。接着，经过大量的计算和推演，钱学森将球壳外压屈曲研究中得到的能量跃变原则和方法推广到了柱壳的情况。①关于这个问题，1942 年钱学森发表总结性文章“薄壳屈曲理论”，内容涉及屈曲判别准则、非线性侧向支撑的柱、外压下的球壳等。②

1943 年以后，钱学森重新回到空气动力学领域，跨声速流动理论是他这段时间的研究重点。1944 年，钱学森在国家航空顾问委员(NACA)技术报告第 961 号发表“可压缩流体亚声速和超声速混合流动中的‘极限线’”，讨论了跨声速流场中的极限线，内容包括等熵无旋流中断准则、轴向对称流、容许路径、容许速度图和流线、速度图平面特性包络和物理平面中的常速路径、容许路径之外的连续解、一般的三维流等。③

1946 年，钱学森与郭永怀合作发表论文“可压缩流体二维无旋亚声速和超声速混合型流动和上临界马赫数”。④这篇论文求解得出同时具有亚声速和超声速流的混合型流动，最早在跨声速流动问题中引入“上临界马赫数”概念，回答了机翼上何时会出现激波这个重要的理论问题。当时，尽管人们凭直觉已意识到激波的出现是气动特性改变的主要原因，但只注意下临界马赫数(即流场中第一次出现声速的飞行马赫数)这个参数。钱学森与郭永怀的连续解表明，即使飞行速度超过了下临界马赫数，在理论上连续解依然可能存在，只有当飞行马赫数超过了上临界马赫数(即流场中第一次出现极限线的马赫数)时才会出现激波。这时等熵流动条件破坏，流动出现分离与旋涡，流体的一部分机械能转变为热能。所有这些因素都会严重地改变流场与气动特性。因此，真正具有实际意义的是上临界马赫数，而不是以前大家所注意的下临界马赫数，“这是一个重大发现”。⑤卡门也对这个重大发现给予了高度评价。这篇论文还得出一个很有实际意义的结论：在二维可压缩流体绕某一物体作无旋等熵流动的流场中，存在有亚声速和超声速的混合型流动。关于是否存在无激波超声速区的问题，当时一直是有争议的，郭永怀和钱学森的结果从

---

① 冯·卡门、钱学森：《圆柱壳在轴压下的屈曲》，载李佩主编：《钱学森文集》(1938—1956 海外学术文献，中文版)，上海交通大学出版社 2011 年版，第 123—135 页。

② 钱学森：《薄壳的屈曲理论》，载《钱学森文集(中文版)》，上海交通大学出版社 2011 年版，第 154—167 页。

③ 钱学森：《可压缩流体亚声速和超声速混合流动中的“极限线”》，载《钱学森文集(中文版)》，上海交通大学出版社 2011 年版，第 191—206 页。

④ 钱学森、郭永怀：《可压缩流体二维无旋亚声速和超声速混合型流动和上临界马赫数》，载《钱学森文集(中文版)》，上海交通大学出版社 2011 年版，第 237—309 页。

⑤ 钱学森：《写在〈郭永怀文集〉的后面》，载《郭永怀文集》，科学出版社 1982 年版，第 331—332 页。

正面予以肯定，后来得到了实验证实。①后来，郭永怀进一步用稳定性理论解释实际临界马赫数会介于上下临界马赫数之间的原因，这是关于高性能气动外形设计的先驱性工作。1940 年代，郭永怀、钱学森、李普曼（H.W.Liepmann）等人成功地解决了跨声速飞行中的空气动力学理论问题。后来，英国的莱特希尔（M.J.Lighthill）予以系统总结，使跨声速理论比较完善地建立起来。应用力学上有关理论的建立以及工程上后掠机翼的采用，使跨声速飞行成为现实。1947 年 10 月 14 日，人类首次突破"声障"，实现超声速飞行，这不能不归功于先驱者的努力，而钱学森、郭永怀是这些先驱者中的佼佼者。

稀薄气体动力学是钱学森在这一时期开辟的新方向。1946 年，钱学森发表论文"Superaerodynamics——稀薄气体力学"，提出将稀薄气体的物理、化学和力学特性结合起来研究，开辟了空气动力学的新领域。该文讨论了这个流体力学分支的基本概念和一些已有的研究结果，首先介绍了分子运动自由程 l 的概念，引入 l 与物体特征长度 L（或边界层厚度 δ）之比 l/L（或 l/δ））作为一个无量纲常数，把马赫数 Ma 和雷诺数 Re 构成的平面划分为 4 个区域：自由分子流区、过渡区、滑流区、气体动力学区。这样，可以由 Ma 和 Re 两个数值来判断流动属于哪种类型。然后，分别讨论了滑流的应力和边界条件，小 Ma 的边界条件，大 Ma 的自由分子流以及流过倾斜平板的自由分子流及相应的升力和阻力系数。②文章提出的流动区域的划分原则被认为是稀薄气体动力学领域的开创性工作，为超高速飞行理论的建立奠定了基础。1947 年夏，钱学森回国探亲，8 月 28 日在清华大学科学馆做"稀薄气体动力学"的学术报告，介绍他在美国最新的研究成果。

在这段时期里，钱学森还从事过一些具体的工程设计，如 1941 年参与风洞研制和建造。在此基础上，1943 年发表论文"风洞的收缩锥设计"。

由于国际形势日趋恶化，战争的脚步越来越近，美国军方开始重视火箭潜在的军用价值。1938 年 5 月，美国陆军航空兵司令亨利·哈利·阿诺德（Henry Harley Arnold，1886—1950）对卡门领导的古根海姆航空实验室的火箭研究产生了兴趣，决定资助他们研制使用火箭助推重型轰炸机起飞的装置，使美军的轰炸机能在太平洋小岛上的短跑道上起飞。这样，火箭小组的研究活动得到了军方资助，获得了开展工程研制的机会。经过努力，火箭小组成功研制出新型复合推进剂，火箭助推起飞器（JATO）于 1941 年 8 月试验成功。这项工作由马林纳负责，钱学森是重

---

① 李成智：《郭永怀——中国卓越的力学家》，《自然辩证法通讯》1988 年第 10 期。

② 钱学森、Superaerodynamics：《稀薄气体力学》，载《钱学森文集（中文版）》，上海交通大学出版社 2011 年版，第 310—327 页。

要的参与者之一。回国后，钱学森曾在关于火箭导弹的报告中忆及在加州理工学院从事火箭研究的情形：

> “1936年成立了一个火箭研究小组，这是研究火箭的一个开始点。”“火箭小组刚成立时，小组成员都是一些年轻人。那时候这些人对于火箭的看法都是很理想的。想到现在航空已经走了一个阶段了，第二阶段就应考虑到我们人类怎样飞出大气层。那时候这几个年轻人对火箭的兴趣完全没想到军事运用，只有想到这是有兴趣的问题。这个小组的领导人名叫马里那”。“这个人是有组织领导天才的，在小组里由他作领导。那个时候我们根本没有实验经费。在资本主义国家里只有靠自己，主要是很多友人凑点钱拿出来作小规模的实验……到了1938年的时候，美国军队开始对这个问题发生了相当兴趣，就跟这个小组人讨论了，说是在美国空军里有一个问题就是关于飞机起飞的时候，有时载重很大，本身发动机动力不够。还有一小问题是飞机发动机坏了，只好降到陆地或水面上来进行修理，有时修理好后动力损失了一部分，这样要起飞是办不到了，所以在这种救急情况下和载重负荷过大的时候，要起飞的时候都需要另外加上足够的推动力，短时间就可以满足这个条件，因为起飞时间是不长的，有30秒或20秒甚至最短15秒钟加一股劲它就可以飞起来。所以当时就让这个小组扩大火箭研究，进行作为飞机辅助推动力的空军使用火箭的研究。这一研究工作由马里那领导。因为火箭不便在学校实验，就到学院临近比较空旷的地方山边上，开始把这一研究机构扩大。”①

随着JATO项目一炮走红，古根海姆航空实验室获得了来自军方的大力支持，取得了快速发展。其结果是，实验室拥有超过575名的工作人员以及价值约为700万美元的实验装备。其中的1943—1944学年，应陆军航空兵空军技术服务司令部的要求，举办喷气技术和火箭训练班，讲授火箭和喷气推进课程，对象限于军方选送到加州理工学院培训研究生的军官。课程由学院的喷气推进实验室(JPL)和GALCIT的成员讲授，钱学森是主要教员之一。课程由同时担任JPL和GALCIT主任的卡门安排。课程以综合的方式覆盖了全部喷气推进系统以及喷气推进飞行器性能的基本原理。课程的讲义在1944—1945学年重复使用，并被编入多卷本的*Reference Text of Jet Propulsion*一书。②

二战期间，德国的火箭研究突飞猛进，好在这一切没有逃过英美情报机构的法眼。1943年夏，美国陆军军械署向卡门展示3张英国情报机构在德国上空拍摄的

---

① 凌福根编：《钱学森论火箭导弹和航空航天》，科学出版社2011年版，第125页。

② 钱学森：《Daniel and Florence Guggenheim：喷气推进中心教学和研究工作》，载《钱学森文集（中文版）》，上海交通大学出版社2011年版，第456—465页。

机密照片，卡门判断它们是德国最早的 V1 导弹发射装置，并催促陆军军械署赶快对它进行研究。与此同时，美国陆军航空兵驻加州理工学院的联络官乔英特上校请马林纳和钱学森起草一份关于远程导弹潜在能力的研究报告。1943 年，钱学森与马林纳合作完成研究报告《远程火箭的评论与初步分析》，提出了几种火箭研究的设想。他们认为，以当时的火箭技术为基础，一枚一万磅重的液体火箭的射程可以达到 120 公里。1943 年 11 月 20 日，卡门在这份水平很高的报告上附了一份备忘录，强调立即动手制定远程导弹发展计划的重要意义。接着，这份报告和备忘录一并送交美国军事当局。这份建议是美国导弹计划的第一份正式记录，也是正式使用“喷气推进实验室”这个名称的第一份文件。[①]随后，美国军事当局火速拨款成立加州理工学院喷气推进实验室，实验室很快成为美国发展远程导弹和空间探索的第一个研究中心。钱学森担任喷气推进实验室喷气研究组组长(共分弹道、材料、喷气、结构四组)。1944 年，在卡门领导下，钱学森作为火箭理论组组长，参与研制列兵 A(Private A)固体燃料火箭。列兵 A/F 系列火箭后来改进为 Corporal 液体火箭，成为美国火箭的两大鼻祖之一。另一个鼻祖，就是大名鼎鼎的德国 V2 导弹。

2.3　参与起草《迈向新高度》

由于在空气动力学、薄壳稳定性理论、喷气推进等方面的突出成就，钱学森成为业内公认的杰出应用力学、火箭技术专家，深得卡门赏识。1944 年 12 月，美国陆军航空兵司令阿诺德将军约请卡门挑选一批科学家，研究未来空中力量及空战将向什么方向发展，怎样把应用力学、火箭、雷达和电子等方面的新技术综合起来，制定一项今后航空研究发展规划，为美国继续保持空中优势打下基础。据此，卡门负责组建了一支拥有 36 名优秀科学家和工程师的科学咨询团。在卡门的邀请和推荐下，钱学森加入了美国陆军航空兵科学咨询团。多年以后，卡门在忆及这件事情时仍对钱学森的学术成就褒扬有加：“钱是加州理工学院的火箭小组元老，第二次世界大战中为美国的火箭研制作出过重大贡献。他 36 岁时已经是一位公认的天才，他的研究工作大大地推动了高速空气动力学和喷气推进技术的发展。我有鉴于此，才举荐他为空军科学顾问团成员。”[②]在卡门的眼中，钱学森就是一个耀眼的天才。随后，钱学森辞去在加州理工学院的教职，赴华盛顿参加陆军航空兵科学咨询团的工作。

---

① [美]冯・卡门、李・爱特生：《冯・卡门——航空与航天时代的科学奇才》，曹开成译，上海科学技术出版社 1991 年版，第 319 页。

② [美]冯・卡门、李・爱特生：《冯・卡门——航空与航天时代的科学奇才》，曹开成译，上海科学技术出版社 1991 年版，第 372 页。

1945年5月，欧洲战事甫一结束，卡门立即率领科学咨询团赴欧洲考察英、法、德等国航空、火箭等技术发展的情况，收集第一手情报资料。根据美国军方的要求，科学咨询团在广泛收集、整理与分析研究欧洲及美国科学技术发展情况的基础上，当年12月起草出一份带有展望和规划性质的前瞻性咨询报告——《迈向新高度》(*Toward New Horizons*)。咨询报告分析总结了世界航空、导弹、电子等领域的发展状况，重点对空气动力学、飞机设计、机载武器、飞机发动机、火箭推进剂、导弹、无人机、导弹制导、炸药、雷达与通信等领域进行了分析和研判，还涉及军事气象学、航空医学和心理学等方面的问题，基本上涵盖二战结束时世界军事科技最前沿的领域，受到美国军方的高度评价。咨询报告共有十三卷，钱学森是主要作者之一，执笔起草了其中的五卷七个部分，分别为：第三卷《技术方面的情报资料》第一部分的"德国、瑞士在航空几个领域的近期进展"；第四卷《空气动力学和飞机设计》第一部分的"高速空气动力学"；第六卷《飞机发动机》第二部分的"脉动式喷气发动机的实验与理论性能"，第三部分的"冲压式喷气发动机性能及设计问题"以及第四部分的"固、液体火箭的设计及发展趋势"；第七卷《飞机燃料和推进剂》第五部分的"原子能燃料作为飞机动力的可行性"；第八卷《导弹和无人机》第三部分的"超音速飞机有翼导弹的发射"。这些部分详细分析了高速空气动力学、脉冲式喷气发动机、冲压喷气发动机、火箭、超声速飞机与有翼导弹以及核能作为飞机动力的可能性等方面的研究进展、存在的问题及其发展前景。

钱学森在科学咨询团的出色工作，令美国军方十分满意。为此，阿诺德将军在1946年2月13日专门给钱学森发信致谢，信中写道：

> "我已经阅读了陆军航空兵科学顾问团的最终报告，您为该顾问团成绩的取得做出了多方面极其有价值的贡献，我愿意向您表示感谢。""您做出的贡献包括：对空气动力学中的空气可压缩性问题，借助于保持薄的边界层减少空气阻力的问题，击波，特别是击波和边界层的相互关系问题进行了研究与分析"，"提出了关于德国和美国的脉动式喷气发动机的调查报告，对二者的性能进行了比较，并对这种类型发动机的专用燃料消耗进行了研究；""提出了一个在设计和研制固体和液体燃料火箭方面的未来发展趋势，和对现正使用的或猜测将用于助推炮兵火箭，飞机助推起飞，巡航和弹道导弹发射，以及大型导弹推进方面的固体和液体助推火箭进行详尽分析的、内容广泛的报告。""您的报告必将对陆军航空兵未来的研究项目规划提供巨大的帮助。"①

咨询报告《迈向新高度》为美国空军提供了指导思想和发展蓝图，促成了美国

① 《美国陆军航空兵司令部阿诺德将军致钱学森的信(1946年2月13日)》，钱永刚提供。

军事科研思想和武装力量发展的转型，奠定了美国空军在世界上的领先地位。对于钱学森为美国航空和火箭技术发展作出的重要贡献，美国专栏作家密尔顿·维奥斯特评说道："钱是帮助美国成为世界第一流军事强国的科学家银河中一颗明亮的星。"另外，通过欧洲考察之行以及参与撰写这份带有前瞻性的咨询报告，钱学森开阔了视野，增广了见闻，接触和熟悉了当时最先进的科学技术知识及其发展趋势，锻炼了从宏观和长远处着眼规划未来科学技术发展的战略思想与工作方法。

总的来说，钱学森在加州理工学院这段时间的研究工作，用他的好友弗兰克·马勃那句非常贴切的话来说，可以分成两部分："一部分是基础性的工作，另一部分是应用性的工作。前者是推进一个领域的基础科学，后者是解决当时所面临的工程问题。"①在这段时间里，钱学森将应用力学学派科学理论与工程实际结合的学术风格与方法运用到了非常完美的程度。他典型的工作方式是直接攻克工程技术中的具体问题，并从中寻找带有普遍性的方法、开辟新的研究领域。就学术成就与科学素养而论，钱学森无疑已成为当时世界一流的应用力学和喷气推进专家。

第三节　总结、推广和发展技术科学思想

3.1　正式提出"技术科学"概念与思想

作为杰出的应用力学家和喷气推进专家，钱学森从事过薄壳理论、气动力学和喷气推进等领域的开拓性工作，对这类新知识及其研究方法有着系统而深刻的认识。参加美国空军科学咨询团考察欧洲、起草《迈向新高度》的经历，又使钱学森对世界科学技术前沿及其发展规律一览无遗。他洞察到，在各交战国政府有计划的组织下，二战中科学家和工程师密切合作将最新的基础科学理论迅速应用到军事技术领域，研制出导弹、雷达、原子弹等新式武器与装备。雷达、原子弹是由国家层面组织顶尖科学家和工程师共同完成的，是国家级科学与技术结合工作的典型例子。它们的问世，大大促进了工程技术发展，并展现出科学与技术结合的巨大价值。他还发现，导弹、雷达和核武器的发展与应用力学的成长过程颇为相似。于是，他意识到有可能也有必要将应用力学的思想方法提升到一个新的高度。

1947 年 5 月，交通大学吴保丰校长致函旅美校友张思侯，托其向钱学森转

① ［美］弗兰克·马勃：《力学研究所成立五十周年感言》，王克仁译，《力学进展》2006 年第 1 期。

达请他回母校做学术讲演的邀请。不久，钱学森便以实际行动对母校的召唤做出了积极回应。1947 年夏，钱学森回国省亲。期间，他先后在浙大、交大、清华这三所著名的理工科大学做了关于技术科学的学术讲演，首次提出“技术科学”的概念和思想。当时，国内科学界将 engineering sciences 译为“工程科学”。

7 月 28 日，钱学森来到浙大工学院发表以技术科学为主题的学术讲演。浙大竺可桢校长在当天的日记中写道：“晨七点余，钱学森来，遂偕至工学院 61 号教室，请其讲演‘工程科学与工程’，到劲夫、晓沧、丁绪宝、范绪箕、岳毅劫、潘渊等诸人。讲达两小时。述工程科学之进展必赖基本科学，古代应用科学与纯粹科学之合一，十九世纪渐趋于分离，近则以发达过甚又趋于互相联系之状况。次述科学能解决若干问题，可于理论决定，不需实验已能证明。一般人说理论与实验为二事之不合理，因理论不正确也。次述理论对将来工程科学之发展，如 Jet Propeller 喷气推进器、Fuel Problem 燃料问题等。最后述工程师之教育准备。”①据此，可略窥讲演内容之一斑。当时，《浙江大学校刊》还以“钱学森教授讲：‘工程与工程科学’”为题对讲演作了报道。

结束杭州之行以后，钱学森来到上海。8 月初，在交大工程馆再次讲演“工程与工程科学”。正在交大航空工程系做助教的庄逢甘聆听过报告，2009 年 11 月 3 日他回忆说：“我出国去加州理工学院之前，听钱老做工程科学的报告。之后，我对工程科学的兴趣越发浓厚。20 世纪上半叶，工程科学里很多都是借鉴经验判断，知其然不知其所以然，而钱老着重发展技术科学。”②庄逢甘“深受启发”，后来专业从事空气动力学研究。8 月 18 日，一位署名为“赵南”的作者在上海《申报》“科学周刊”栏目发表短文“工程和科学”，述说技术科学对工程技术进步的巨大作用以及技术科学产生的历史。③对照下文，此文疑似钱学森在交大讲演内容之概要。随后，钱学森北上北平，来到清华园，8 月 26 日在同方部讲演同一内容，由清华工学院代院长陶葆楷主持。14 年后，聆听过此报告的清华大学 1950 届毕业生彭秉璞在写给钱学森的信中说：“1947 年 8 月 26 日曾在同方部听过您作的一次学术报告‘Engineering Sciences’，留下很深印象。”④

综观各种关于钱学森讲演的文献史料，记述最详细者当数交大机械工程系 1947 届毕业生陈国祥。当时，陈国祥比较详细地记录下了讲演内容，并在《工程

---

① 竺可桢：《竺可桢全集》（第 10 卷），上海科技教育出版社 2006 年版，第 495 页。

② 庄逢甘：《钱老直接影响了我》，载《怀念寄先人，精神永相传——在中国航天科技集团公司深切悼念人民科学家钱学森座谈会上航天院士、老专家、老领导发言摘要》，《中国航天报》2009 年 11 月 4 日。

③ 赵南：《工程和科学》，《申报》1947 年 8 月 18 日。

④ 彭秉璞：《致钱学森的信（1961 年 7 月 17 日）》，上海交通大学钱学森图书馆。

界》杂志1947年12月号上以“怎样研究工程科学和研究些什么?”为题发表。据此,我们得以窥见钱学森在交大讲演内容之大概。

报告一开始,钱学森指出高速飞机的出现、原子能的利用等工程技术上的巨大突破,“完全是分析及其论理的帮助”,即技术科学建立和发展的结果。紧接着,他讲述了以应用力学为代表的技术科学产生的历史。他认为,技术科学中有两大类问题需要进行研究:一为科学和工程的单纯问题,如火箭设计问题;二为某种普遍现象的研究,如湍流问题。在第一类问题上,技术科学能澄清极其复杂的工程问题,并能使工程设计避免失误,以最为经济的方法达到目的。也就是让工程技术建立在科学理论分析的基础上,不再单纯地依靠经验。在第二类问题上,对某种基本现象的技术科学研究结果不仅使一项工程受益,而且会助益许多领域,还能引导工程技术发展。关于研究方法,他说技术科学是半经验半理论的,需要将问题作适度简化,建立模型,然后进行实验,对理论进行验证,需要理论研究人员与实验人员密切合作。关于技术科学家的培养,钱学森认为需要在数学、基础科学和工程设计与实践这三方面接受严格的训练。研究技术科学的人需要学习很多东西,虽然学习的时间随着时代发展而愈来愈长,但是掌握这些东西以后,任何方面的问题都可以迎刃而解。技术科学家对工程技术的进步可以有直接的贡献,如原子弹、雷达、火箭、塑料等伟大发明,都是技术科学家的功劳。在结束演讲之前,他还介绍了流体力学、弹性学、燃烧学、电子学、材料学、原子核研究等当时技术科学领域的学术增长点。最后,他借用美国原子学专家尤瑞(Urey)的话,向技术科学家发出号召:“我们的责任就是要除去不安适不满足和贫苦,我们要贡献给人类的就是安适,闲暇及优美。”①

通过这一系列的学术讲演,钱学森向祖国介绍了技术科学的重要性以及理工结合的理念,意在引起国内对具有广阔发展前景的技术科学新领域的重视,利用技术科学来迅速改变中国的落后面貌,同时希望工程教育界适应科技发展趋势改革工程人才培养模式。遗憾的是,当时的政府无暇顾及科技事业,科研机构与大学处于嗷嗷待哺的状态,研究人员心有余而力不足。通过与亲朋好友、同行故旧的接触,他深感国内尚不具备实践技术科学思想的政治、经济环境。他看到曾和他一起在加州理工学院留学的植物生理学家殷宏章的苦闷情形,当时的殷宏章连科学研究都无法进行。②国内的形势和状况使钱学森对技术科学的宣介如同泥牛入海,没有在当时造成明显影响。他不得不返回美国继续学术研究,等待再次为祖国服务

① 钱学森:《怎样研究工程科学和研究些什么?》,《工程界》1947年第12期。

② 柏生:《热爱祖国的科学家钱学森》,《人民日报》1955年11月3日。

的良机。返美后，钱学森将讲演内容整理成文，并予以深化拓展，1948 年以“工程与工程科学”为题发表。文章系统地总结提炼了技术科学的学科性质、研究内容，技术科学对工程技术进步的作用，以及成为一名技术科学家需要接受什么样的教育和训练等，使技术科学成为与基础科学、工程技术并驾齐驱的一大门类新的知识体系。

3.2 发展和推广技术科学思想

由于在应用力学、喷气推进等方面的学术成就大放异彩，钱学森的学术声誉和地位扶摇直上，获得了很多的荣誉和著名机构的兼职。1947 年 2 月，麻省理工学院决定破格提升钱学森为终身正教授，请卡门写推荐信。“钱博士在应用数学和数学物理解决气体动力学与结构弹性方面的难题方面，绝对是同辈中的佼佼者……他人格成熟，堪当正教授之责，也是一位组织能力极强的好老师。他对知识和道德的忠诚，使他能全心奉献于科学……”①卡门在推荐信中这样字斟句酌地对弟子钱学森在教学研究、组织领导和敬业精神方面的表现给予充分的肯定，这就是他在回忆录中所提及的“非常乐意推荐他为麻省理工学院的终身教授”这件事。②随后，钱学森来到坎布里奇担任麻省理工学院航空工程系教授。

一般的科学家成名之后很少转型换向，因为这不仅需要一个不短的过渡期，而且失败的风险很大。钱学森没有沉醉于既有的成就与荣誉，而是觉得已有的荣誉和平台让他有更好的机会将技术科学思想推广到更为广阔的领域。随后的十多年，钱学森一直以技术科学思想作为指导科研的规范，努力提炼、完善和发展这一理念，并将其推广到其他工程技术领域，不断开拓出新的研究领域。对于钱学森在加州理工学院最后几年的工作，弗兰克·马勃说他“主要关注的是如何将严格的理论与工程实践结合的问题。他将此称为‘工程科学’。他花费了不少精力来说明什么是工程科学，如何应用工程科学，以及如何在学校里教授工程科学。”③经过艰苦探索，钱学森将自己的研究推向更深入、更普遍的层次，开辟出核动力工程、火箭控制、物理力学等新的领域，学术思想也得到进一步升华，从应用力学阶段上升到技术科学阶段。为及时了解导弹火箭、电子、核技术等领域的进展，钱学森自 1945 年 8 月 7 日开始收集美国各大报纸、科学期刊上关于这些领域进展的报道和信息，直到 1950 年准备动身回国为止，累计粘贴装订成九大册，共计 2 000 多份。其中，有一篇取自 *Sci-*

① 转引自钱学敏：《钱学森在美国的 20 年(连载七)》，《光明日报》2006 年 7 月 26 日。

② [美]冯·卡门、李·爱特生：《冯·卡门——航空与航天时代的科学奇才》，曹开成译，上海科学技术出版社 1991 年版，第 374 页。

③ [美]弗兰克·马勃：《力学研究所成立五十周年感言》，王克仁译，《力学进展》2006 年第 1 期。

ence 杂志的文章，内容为讨论放射性碳 14 进行年代测定的方法，作者为美国化学家威拉德・利比(Willard Libby)。1947 年，利比提出利用放射性碳 14 同位素测定地质年代的方法，并因此获得 1960 年度诺贝尔化学奖金。这个事例表明，钱学森对科学最新突破及其应用的关注达到了令人惊讶的程度。由于强烈的开拓意识，钱学森这一时期在许多领域都有建树，他的博士生郑哲敏说："在具体工作领域内，他善于捕捉那些关键性、基础性的问题，并且很有特色地一个一个把它们解决。他善于从总体上把握问题，总是比别人站得更高一些，看得更远更深一些，问题抓得准，解决得更透彻。正如当年钱先生的一位美国同事许多年后告诉我的那样：'钱想的大！'"①

钱学森对核能应用的兴趣源于参与起草《迈向新高度》。他为报告起草了第七卷《飞机燃料和推进剂》第五部分的内容"原子能燃料作为飞机动力的可行性"，研究了原子能燃料用于热喷发动机和火箭发动机的可行性。此后，他对发展核动力发动机的兴趣有增无减。1946 年，他发表论文"原子能"，介绍原子能作为飞行器动力这个研究领域的基础知识和研究动态，以及原子能作为动力在航空航天上应用和进行工程设计的物理原则与工程途径。其时，他还撰写了一系列关于制造核火箭的讲稿，陆续在麻省理工学院讲演，引起师生和其他听众极大的兴趣。1947 年 5 月 13 日和 15 日，在麻省理工学院举办的核反应堆材料应用研讨会上，钱学森做了"使用核能的火箭及其他热力喷气发动机——关于多空反应堆材料利用的一般讨论"的学术报告。钱学森详细阐述了采用核动力的火箭及其他喷气推进中出现的一些基本问题如相对论效应、优化设计等，估算了核动力火箭的重量和性能，还对堆减少临界尺寸的可能性与采用多孔材料作为堆体的优点提出了建议。②多年后，这篇论述核动力火箭的杰出论文仍被卡门视为这一领域的经典名篇。③

1949 年夏末，钱学森返回加州理工学院，担任喷气推进中心戈达德(Robert H.Goddard)讲座教授，兼任古根海姆喷气推进研究中心主任。这个研究中心是古根海姆基金会主席哈雷・古根海姆 1948 年设立的。是年，基金会新建两个取名为 Daniel and Florence Guggenheim 的喷气推进研究中心，一个在普林斯顿大学，另一个在加州理工学院。研究中心的主要目的有三个：(1)按研究生的水平在火箭和

---

① 郑哲敏：《钱学森老师对我的教诲》，《神州学人》1991 年第 1 期。

② 钱学森：《利用核能的火箭及其他热力喷气发动机》，载《钱学森文集(中文版)》，上海交通大学出版社 2011 年版，第 372—386 页。该文 1949 年正式出版，见 Tsien H.S.Rockets and Other Thermal Jets using Nuclear Energy, *The Science and Engineering of Nuclear Power*, *Volume II*, *Chapter 11*, Cambridge, Addison-wesley.1949.177—195。

③ [美]冯・卡门、李・爱特生：《冯・卡门——航空与航天时代的科学奇才》，曹开成译，上海科学技术出版社 1991 年版，第 375 页。

喷气推进技术的领域培训青年工程师和科学家，接力培育新一代先驱者，将航空前沿推向下一个“更高的”范畴；(2)在火箭和喷气推进领域策动研究和提出先进的理念，竭力对这一新领域的坚实发展贡献必要的基础知识；(3)促进和平时期火箭和喷气推进的商业和科学应用。这些项目由讲座教授来主持实施，并有若干较年轻的教职员和研究生协助工作。①钱学森以在应用力学、火箭推进等方面蜚声世界的成就，成为这个美国太空与火箭研究重要平台的领导者。他继续在火箭和航天领域探索，不断提出创新的思想。如 1952 年提出了“钱学森弹道”。②后来，半弹道式再入航天器或升力体式航天器的再入弹道的基本设计思想，就是来源于“钱学森弹道”，也是目前载人航天的必备弹道。他还发表了“时速为一万公里的火箭已成为可能”的惊人理论。另外，钱学森在指导研究生的课程中已有火箭洲际飞行的内容，还提出了星际旅行的相关理论，因而誉满全球。

这一时期，钱学森“以十分刻苦和认真的态度致力于教学和科研工作。除了在家里工作外，每天来学校时，早上若无课，便在办公室工作，整个下午不是参加讨论会就是找人一起研究问题。他总是那样高效率而有条不紊地工作着。”③他在喷气推进中心举办讨论班，这个讨论班成为“加州理工学院校园里最活跃的讨论班之一，不论谁做报告，几乎所有教授都发言，气氛是那样的热烈。”他大力倡扬理工结合，继承应用力学学派学风，既重视基础理论的汲取，又注重问题的实际工程背景，认为只有如此才能达到推动工程技术发展和进步的目的。郑哲敏回忆说：“在一次喷气推进讨论班上，钱先生发表了关于如何进行理论研究以及实践(或实验)与理论关系问题的精彩讲话，给我留下很深的印象。当时，他在黑板上随手画了一张图，以一条曲线表示理论研究的进展，曲线两侧有构成喇叭似的两根直线，以表示实践(或实验)。他说，当曲线与直线相撞时，就应当考虑改变理论研究的方向或途径，而且只有在理论与实践不断相互作用的条件下，理论研究才能取得实质性的进展。现在时间虽然过去了几十年，钱先生这张图仍清晰地印在我的脑中”。④ 自由活跃的学术氛围，加上钱学森高效的组织和运筹，喷气推进中心很快就成为著名的科技创新基地。

3.3 建立工程控制论与物理力学

无论是流体力学、固体力学，还是喷气推进技术，钱学森的研究领域基本上属

---

① 钱学森：《Daniel and Florence Guggenheim：喷气推进中心教学和研究工作》，载《钱学森文集(中文版)》，上海交通大学出版社 2011 年版，第 456—465 页。

② 钱学森：《从卫星轨道上起飞》，载《钱学森文集(中文版)》，上海交通大学出版社 2011 年版，第 592—598 页。

③④ 郑哲敏：《钱学森老师对我的教诲》，《神州学人》1991 年第 1 期。

于“硬件”。二战后，在分析 V-2 导弹杀伤效果时，钱学森发现制导与控制的重要性。如 1956 年他在一次关于火箭导弹的专题报告中说：“V-2 火箭本身工程还不错，就是自动控制差得很远，德国用 V-2 打伦敦的时候很不准，真正打到城里的很少，打到市郊的很多，可以说德国人解决了推进和弹道的问题，但没有解决自动控制的问题。所以如把普通炸药一吨用在 V-2 上很不合算，因为这个火箭相当的复杂，很贵，放了后又没有准确性，一吨炸药也不知道打到哪个地方去了，实际作用等于刨土坑子，没有打到要害，不能发挥多大的威力。”当时，德国“航空研究的目标都是摆的很远的，很大力量摆在发展超音速飞机和超音速飞行的问题上。在大战后期发现关于研究飞弹任务非常紧迫，研究飞弹正好利用超音速飞行空气动力学中已经得到的很多资料，空气动力学和飞弹问题他仍是完全可以解决，就是不能解决自动控制问题，急得那个时候什么都想，可是没有一个系统可以做出来。二次大战后，美国人把这些资料完全接过来，德国工程师也找去，要研究的问题就是自动控制的问题。他们估计再花三年也就可以解决，可是估计太低了，虽然美国是一个工业条件很好的国家，关于自动控制的电话系统电信系统也发展很多，可是运用到对长距离火箭和飞弹的控制要麻烦得多，困难很多。这些问题前两年才解决，一共用了九年时间”。[①]于是，他开始关注和研究工程控制问题。

二战结束以后，世界形势发生了重大变化，世界分成美苏两大阵营，双方在 1946 年进入“冷战”对峙状态。随后，美国政府的政策日益激进，以抵制共产主义的“蔓延”。1950 年，威斯康星州共和党参议员乔・麦卡锡(Joe McCarthy)极力鼓吹反共并迫害进步人士，使得政治家与政府中各层次的立法者计划寻找并处罚任何被怀疑倾向共产主义的人。随着国会通过“麦卡锡法案”，一场横扫美国的反共产主义活动——麦卡锡运动如野火般蔓延开来，将美国带入“麦卡锡时代”。这导致包括对“曼哈顿工程”作出突出贡献的奥本海默在内的数千名美国公民受到怀疑、追查和迫害，甚至遭到解雇，实际上他们只不过表现出过不合美国政府的政治理念与观点而已。凶猛的政治海啸突然来袭，学术重镇加州理工学院亦未能幸免。

1930 年代后期，席卷西方世界的经济大危机在人们心中阴影未散，这场危机支持马克思关于资本主义必然产生经济危机的著名论断，引发了学习和宣传马克思主义的社会思潮。加州理工学院的许多师生也受到这股思潮的影响，钱学森甚至还参加过左倾社团组织的活动。进入“麦卡锡时代”后，当年的火箭小组有一个成员被证实为共产党员，钱学森因之被怀疑为共产党员或共产主义赞同者，受到联邦调查局的调查。1950 年 7 月，美国军事当局无视钱学森在反法西斯战争中的重

① 凌福根编：《钱学森论火箭导弹和航空航天》，科学出版社 2011 年版，第 127—128 页。

要贡献,吊销了他从事机密研究的安全许可证,使他无法留在喷气推进中心继续工作。在这种情况下,钱学森向学校表示准备辞职回国,然而遭到美国移民局的阻挠和拘留,还被拘捕并关押在特米纳岛的拘留所达15天之久。钱学森蒙难至此,他的同事和朋友纷纷向他伸出援手。在同事、朋友的斡旋和帮助下,他以1.5万美元的重金获得保释,返回学校继续任教。实际上,钱学森得到的是被软禁的待遇,他的信件和电话都要受到检查,他的行动自由受到了严格限制,甚至美国移民局要求他每个月必须去移民局汇报一次,说明当月的社会活动、身体健康、与人交往等情况。其间,美国移民局还对他进行了多次审讯。这些说不清、道不明的莫须有罪名,搅得钱学森寝食难安。但是,这样的重压和干扰并未压垮他,身处逆境的钱学森果断将研究兴趣转移到火箭制导与控制、物理力学等理论方面,集中精力埋头于冥思苦想之中。

1948年,美国数学家维纳(N.Wiener)发表划时代的著作《控制论》(*Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*)一书,建立了控制论。这门新科学是研究动物(包括人类)、自动机器和有机体的控制和通讯的理论。该书问世之初,备受争议,褒贬不一。而钱学森具有从弹道火箭到可控和制导火箭研究的丰富经验,敏锐地意识到控制论的重要价值,迅速将控制论的原理应用到喷气推进技术中的稳定、控制与制导系统的研究,发表了"探空火箭的最优推力规划"、"火箭喷管的传递函数"、"远程火箭飞行器的自动导航"、"火箭发动机中燃烧的伺服—稳定"、"峰值保持最优控制分析"等重要论文。其中,1951年发表的"探空火箭的最优推力规划"一文,讨论了探空火箭的最优弹道问题,要求提出一种理想弹道,在相同的燃料消耗条件下,使火箭达到的高度最大。1952年发表的论文"火箭发动机中燃烧的伺服—稳定",探讨如何利用反馈控制的方法使火箭发动机中的燃烧过程稳定,成功建立了描述燃烧室压力变化规律的方程。①

更为可贵的是,钱学森没有就此罢手,而是更加深入地意识到不仅在火箭技术领域,而且在整个工程技术范围内,几乎到处都存在着被控制的系统。而且,有关系统控制的技术也有了多方面的发展,因此很有必要采用一种通观全局的方法,来充分了解和发挥导航技术和控制技术的潜在力量,以更广阔的眼界用更系统的方法观察问题,寻求新的方法,解释新的前景。②鉴于此,他主张建立"工程控制论"这样一门新的技术科学,1953年底在加州理工学院开设"工程控制论"课程,1954年在此基础上出版专著《工程控制论》(*Engineering Cybernetics*),建立了"工程控制论"这门技术科学。钱学森将"工程控制论"的研究内容界定为系统各个部分之间

---

① 钱学森:《火箭发动机中燃烧的伺服—稳定》,载《钱学森文集(中文版)》,上海交通大学出版社2011年版,第545—556页。

② 钱学森:《工程控制论》序言,科学出版社1958年版。

的相互作用的定性性质以及整个系统的运转状态。不及几年,该书被译成德、俄、中等多种文字,广为流传,对控制论的发展和应用起到了巨大的推动作用,成为控制论领域的经典著作。

另外,钱学森在研究超声速飞机、喷气推进和原子能等尖端技术过程中,特别是在处理火箭发动机内部的燃烧过程时,经常需要用到工程介质和材料在高温、高压、超高温、超高压等状态下的性能数据。但是,工程手册上查不到这些数据,如果完全依靠实验手段去获取,难度又非常大。针对此,钱学森采取了多种解决方式和手段,如邀请潘纳(S.S.Penner)到加州理工学院合作研究,用光谱方法探测喷气发动机的燃烧过程,开展包括对光谱吸收系数、发射率和辐射输送问题的研究。钱学森本人则应用统计力学、光谱学和化学动力学理论,研究气体和液体的平衡和输运性质以及气体的热辐射性质等,希望开辟一条通过技术科学手段解决这个问题的新路径。在研究探索过程中,他意识到由于近代物理学和化学的巨大发展,人们对物质在原子核以外的分子和原子结构的知识已是全面而完整的,有条件像建立应用力学那样去建立一门新的技术科学——物理力学。1953 年,钱学森在《美国火箭协会杂志》发表论文"工程科学的一个新领域,物理力学",提出建立"物理力学"这门新学科。他指出,这门学科的目的是用组成物质的微观性质的知识去预测工程师感兴趣的物质的宏观性质。文章讨论了物理力学的内涵和基本概念及其对火箭和喷气推进研究的重要意义。①不过,当时的理论预期与实验观测之间仍然有着比较大的差距,建立这门科学还有相当大的困难。围绕这些问题,钱学森继续深入探索,陆续发表了"纯液体的特性"、"高温高压气体的热力学性质"等论文,取得了重要进展。在前文中,他采用在流体力学和固体力学中应用得非常成功的量纲分析方法,获得两个特别有用的结果:一个是计算液体质量热容的方法,另一个是计算液体热导率的方法。前者适用于正常液体,后者既适用于正常液体,也适用于非正常液体。②在这些研究中,钱学森充分贯彻科学理论与工程实际结合、半理论半经验的技术科学思想。

与此同时,钱学森在喷气推进中心为研究生开设物理力学课程,并向具有数学、物理和化学预备知识的其他工程领域的学生开放。他还编写出《物理力学讲义》,共有 13 个章节,内容包括固体的热学性质、非理想气体、输运过程的一般理论、中子的扩散和减速、热辐射、液体和稠密气体等。郑哲敏曾听过钱学森讲授的工程控制论和物理力学课程。他回忆说,当时的钱学森认为传统的物理研究大都

---

① 钱学森:《物理力学,一个工程科学的新领域》,载《钱学森文集(中文版)》,上海交通大学出版社 2011 年版,第 557—562 页。

② 钱学森:《纯液体的性质》,载《钱学森文集(中文版)》,上海交通大学出版社 2011 年版,第 563—578 页。

做实验，但在高温高压的情况下，那些物理化学过程没办法做实验，也没办法观察，所以应从基本的物理知识，如量子力学、统计力学、光谱学等开始研究。①简言之，物理力学的目的是通过对物质的微观分析，把有关物质宏观性质的实验数据加以总结和整理，找出规律，得到需要的数据，并利用这些规律预见新材料的宏观性质，为发展新材料和新工艺服务。当初，钱学森提出建立物理力学时希望吸引更多的科学家和工程师关注这一新兴而且富有前景的领域，后来物理力学不断发展、丰富，成就蔚为大观。如与钱学森合作过的潘纳，1961 年创办学术期刊 *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*，标志着钱学森当年提倡的"定量光谱学"正式成为一门新的学科。

钱学森在这段时期的研究工作具有一个共同特点，就是十分重视问题的实际背景，即为突破航空航天尖端技术服务，以不断深入和超前的研究成果影响和推动它们的发展。这些研究领域虽然差别甚大，但它们具有一个共同特征，即都为致力于将最新的理论科学成果应用于工程实际的研究，概括与发展出处理重大工程技术问题的普遍性或一般性方法，即理工结合的技术科学原则。由此可以看出，钱学森对技术科学工作方法已经运用自如，在一个个领域屡试不爽，有的甚至从根本上改变了这些领域的发展状况。关于在美国 20 年间的学习和工作，钱学森自己曾作过言简意赅的概括："1930 年代中期到美国 MIT 及 CIT 学习，MIT 重在工，而 CIT 则强调理工结合。我在 CIT 选修了不少理科课程，如微分几何、复变函数论、量子力学、广义相对论、统计力学等。博士论文也是用数理理论解决工程技术问题。后来十几年在 MIT 及 CIT 教学做研究，从薄壳理论、气动力学、火箭技术到工程控制论、物理力学等，也都是理工结合，用'理'去解决'工'中出现的新问题。"②

第四节 本章结语

在冯·卡门的指导下，钱学森继承和发扬哥廷根应用力学学派的思想方法，在应用力学、喷气推进等领域取得了杰出的成绩，成为举世闻名的应用力学家和喷气推进专家，而且一段很不平凡的经历让他熟悉了世界科学技术发展的前沿领域，这使他具备对技术科学进行系统总结、理论提炼的能力和条件。二战结束后，钱学森在分析核技术、雷达和火箭技术发展的历史经验过程中，自觉意识到应及时总结技

① 王卉、张巧玲、潘希：《从物理力学起落看钱学森学术思想》，《科学时报》2009 年 11 月 12 日。

② 钱学森：《致钱学敏的信(1994 年 2 月 7 日)》，载《钱学森书信集》(8)，国防工业出版社 2007 年版，第 58—61 页。

术科学的发展历史，对学科知识进行整理总结，使其系统化、理论化。1947年，钱学森正式提出“工程科学”的概念，并阐明它的研究内容和研究方法。在这以后，他积极将技术科学工作方法和方法推广到核动力工程等许多领域，建立了工程控制论、物理力学等新的学科。钱学森对技术科学思想的总结和发展，经历了技术科学研究者、概念提炼者以及思想方法实践者等阶段。在经历了长达十多年的实践—理论—再实践—再理论的探索过程，钱学森的技术科学思想不断发展成熟，臻于完善，形成了涵括概念、历史、研究方法、发展方向等方面的博大精深的思想体系。

1955年10月回国后，钱学森四处大力介绍和传播技术科学思想，并根据当时国内的习惯将“工程科学”改为“技术科学”。1957年2月5日，钱学森在第一次全国力学学术报告会上做了“论技术科学”的总结性报告，对技术科学的性质、内容和研究方法论进行了全面而深刻的论述。随后，这篇著名报告刊载于《科学通报》，①其视野宏大，学力博厚，洞察深邃，许多思想和观点远远超前于当时的时代，在现代科学技术史上占有独特的地位。

① 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》1957年第4期。

第三章　钱学森对技术科学思想的提炼和发展

应用力学自20世纪初建立以后，经过几代应用力学家持续不辍的努力，取得了累累硕果。但是，应用力学密切结合工程需要，采用了一些经验手段与近似方法，在追求精确的自然科学家看来，它在理论上显得不够严谨，存在严重的逻辑缺陷。还有人认为，应用力学只不过是应用数学或经典力学的应用而已，算不上独立的知识体系。自诞生之日起，这些来自不同角度的质疑声始终不绝于耳，即使以应用力学为龙头的技术科学成就辉煌，蔚为大观，质疑与偏见亦未销声匿迹。

原创性思想往往是比较粗糙的，如同恩格斯所说，概念的混乱，在"创始者那里，这是很自然的事情"。①在相当长的时间里，技术科学一直处在孕育生长、攻城略地、积累材料的阶段，没有进行理论建构、归纳出系统的理论体系，更没有形成整体的概念。一门科学不能是个别实例、具体经验的综合，它应有自己的体系、问题和方法。技术科学属于什么性质的学问？它的逻辑基础是什么？它与基础科学、工程技术的区别何在？如何研究技术科学？等等。这些源自本体论的追问道出了学科面临的困难，也是技术科学家萦怀于心的问题。走出具体的经验研究，对技术科学的理论与历史予以总结和综合，进行学科理论建构，给予它们基本内涵、概念以及存在的合法性，实在是呼之欲出了。1940年代后期到1950年代后期，钱学森对技术科学的发展历史进行了总结提炼，界定了技术科学的学科性质、研究内容、方法论等，及时回应了各种对技术科学的质疑和责难，为学科合法性提供了充分的论证，使技术科学成为与基础科学、工程技术并列的一大门类知识体系。

---

① [德]恩格斯：《反杜林论》第二编第十章《批判史》论述，载《马克思恩格斯全集》(第20卷)，人民出版社1971年版，第255页。

第一节 技术科学产生的学理与历史基础

科学史上,一般新知识出现时往往产生两种情形:一是已有的科学范式可以解释,因而被纳入现有的学科;二是新知识的研究方法与已有的范式之间因意见相左而产生张力,这种张力往往导致新的学科的建立。技术科学的出现,就属于后一种情形,必须创造一个新的学科概念,以表达旧的概念所无法表达的新涵义。1948年,钱学森敏锐地指出:"在短短的数年中,紧张的研究工作把基础物理学的发现,通过实用的工程,变成了战争武器的成功应用。"这样,"纯科学上的事实与工业应用之间的距离现在很短了。"也就是说,"长头发纯科学家和短头发工程师的差别其实很小,并且为了使工业得到有成效的发展,他们之间的密切合作是不可少的。""他们之间的密切合作,产生了一个新的职业——工程研究家或工程科学家,他们成为纯粹科学和工程之间的桥梁。他们是将基础科学理论应用于工程问题的那些人。"①在这里,他指出在科学家和工程师之间产生了"工程科学家"这个新的群体,他们从事"基础科学理论应用于工程问题"即工程科学这种新学问的研究。这是科学史上首次明确提出"技术科学"的概念,也是技术科学摆脱传统科学部门的独立宣言。

任何一个学科概念的提出,必须有其明确的研究内容。因为,"一门学科的创生必须有其他学科无法取代的科学的定义和研究对象,这是学科安家之本。离开了这一前提,所谓的新学科只能是'取宠之学'或'理论拼盘'。"②学科名称指代的是某一独特的研究领域,而构成某一学科研究领域的即是它的研究对象,这些领域不能被其他学科覆盖,必须为自己所独有。技术科学的研究对象是什么呢?钱学森分析说:"在工程学最近发展的大量问题中,在工程学许多分支领域往往有重复发生的现象。这些现象可以直接从常规问题中提炼出来,工程科学家必须解决这些问题,并把它确切地表达为工程科学研究的各个领域。这些研究的结果不仅使一个工程领域受益,而且对所有的工程领域都有益。"③意即工程技术中常有一些带有共同性或普遍性的问题,把这些问题从工程实践中分离出来并从理论上加以研究,可以为工程技术提供一般性的理论。

为了更加清楚地说明研究对象,钱学森将技术科学的主题分成三大类:一是应用力学以外的领域,如物质的固态性质、电子学和核技术等;二是接近于应用力学

---

①③ Hsue-Shen Tsien, *Engineering and Engineering Sciences*,王寿云编:《钱学森文集》,科学出版社1991年版,第550—563页。

② 陈燮君:《学科学导论——学科发展理论探索》,上海三联书店1991年版,第229—230页。

的领域，如燃烧学等；三是应用力学研究的领域，如湍流、气动力学等。从表面上看，它们似乎都是基础物理学的应用。那么，为何物理学家不能承担这些研究工作，交由技术科学家来完成呢？或者说，这些工作为什么不能纳入基础物理学的范畴，而需要建立技术科学这种新的学问去研究呢？钱学森揭释了其中的学理原因，他说："首先，物理学家的观点与工程科学家的观点之间存在着根本的区别。物理学家的观点是纯科学家的观点，他们本质上对简化问题直至得到'精确'的解答感兴趣。而工程科学家对解决交给他们的问题更感兴趣。尽管工程的目的足够精确，但它是很复杂的，所以只能采取近似的解决方法。因此，物理学家将对简化的问题给出精确的解决方案，而工程科学家希望对实际问题提供近似的解决方案。物理学家的工作可能有时是不切实际的，但工程科学家的工作必须总是结合实际的。"其次，物理学家对工程问题缺乏浓厚兴趣。因为这两个方面的原因，技术科学家不得不拾起物理学家丢弃的地方，将物理学理论转化成可以解决工程实际问题的工具。换句话说，基础科学虽是工程技术的基础，但它是简化了的规律，不能包括工程技术实际中的所有规律。所以，需要结合工程应用、采用理论与经验结合的办法建立直接为工程师应用的技术科学。

那么，提出"技术科学"概念的历史依据何在？在钱学森看来，在近代科学的早期阶段，工程师与科学家是不分家的。后来，科学家忙于建立自然科学的完整体系，而工程师忙于运用在实际工作中积累的经验去改进生产方法，科学与工程开始分道扬镳。这种分离的局面直到 19 世纪末 20 世纪初才发生根本性的改变。因为，当时的工程技术发展越来越复杂，通过试错法发明新技术的可能性已经越来越小，必须应用理论科学的研究成果。例如，电机工程和航空工程这两项新的工程技术兴起之初，没有什么可以借鉴的旧经验，比以往的任何工程技术都需要理论科学的指导。然而，电磁学和经典力学又不能直接被工程师用来指导工程设计。在这种情况下，直接服务于电机工程、航空工程的技术科学电工学、应用力学就乘机建立起来了。不过，电工学、应用力学并不是将自然科学理论简单地应用到工程技术。为什么这么说呢？钱学森解释说："自然科学的研究对象并不是大自然的整体，而是大自然中各个现象的抽象化了的、从它的环境中分离出来的东西。所以，自然科学的实质是形式化了的、简单化了的自然界"。"科学理论决不能把自然界完全包括进去。总有一些东西漏下了，是不属于当时的科学理论体系里的；总有些东西是不能从科学理论推演出来的。所以虽然自然科学是工程技术的基础，但它又不能完全包括工程技术。"

客观事物是极其复杂的，为了便于研究，构造一个简明有效而又能反映客观规律的理论模型，是理论科学研究的通常做法。这种对客观事物做理想化的处理简

化方法给研究工作带来了极大的方便,能够抓住主要矛盾,易于推出新结果。基础科学就是将自然现象抽象简化以后而得出的结果,它的内容不可能全面地、真实地反映整个自然界,所以不能直接应用到以极端复杂的自然界为工作对象的工程技术中去。因此,"把自然科学的理论应用到工程技术上去,这不是一个简单的推演工作,而是一个非常困难、需要有高度创造性的工作。""说科学理论应用到工程技术上去是不合适的,应该更确当地说科学理论和工程技术的综合。因此有科学基础的工程理论就不是自然科学的本身,也不是工程技术本身;它是介乎自然科学与工程技术之间的,它也是两个不同部门的人们生活经验的总和,有组织的总和,是化合物,不是混合物。""要作综合自然科学和工程技术,要产生有科学依据的工程理论",需要一个新的部门——"技术科学"。[①]因此,技术科学是自然科学与工程技术结合而创造出来的一大类新的理论知识。这也表明,技术科学是不以个人的主观愿望为转移的,它是科学与工程自觉结合的产物,有着充分的学理与事实依据。核武器、雷达和导弹的问世,更加彰显出技术科学的巨大威力,更加说明技术科学概念的提出,并非源于应用力学这个个案,而是具有普遍性,是经得住事实检验的。对于技术科学建立的必然性,工程热物理学家吴仲华也持相似的看法。他说,在近代工业发展初期,基础科学可以直接对工业发展起着指导作用。但随着工业生产的发展,现代工业各门专业中包括的科学技术问题越来越复杂。基础科学的理论和知识仅仅能对工业发展做总的、一般性的指导,在许多情况下是无法解决具体的技术问题。于是,"必须对工业部门生产实践中的同类型的具体问题进行概况、总结,并且深入地进行理论研究(其中包括在专门设计的实验设备上进行的实验工作),从而得出具体物质运动形式的规律,才能解决各工业部门的具体科学技术问题,并指导它们的发展。这样得到的各工业部门中同类型问题的具体规律的认识就形成了各门技术科学(在有些国家称为工程科学)。每一门技术科学也都有它自己的基础理论。"[②]

总之,钱学森从学理与历史两个方面进行严格论证,将技术科学建立在牢固的逻辑基础上,确立了学科的合法性和自主性。他证明了技术科学是一种不同于自然科学、工程技术的科学知识,既不是基础科学的附属学科和单向应用,也不是工程技术某个具体的研究领域,而是拥有自己独特清晰的研究对象,属于只有技术科学家才能胜任的科学领域。1957 年,钱学森在《力学学报》发刊词中将技术科学界定为:"介乎基础科学(像数学、物理、化学)和工程技术之间,它一方面吸收

① 钱学森:《论技术科学》,《科学通报》1957 年第 4 期。

② 吴仲华:《大力加强技术科学研究工作》,《红旗》1978 年第 4 期。

基础科学的成果，另一方面把工程技术里面有一般性的问题抽出来作为研究对象，所以技术科学是基础科学和工程技术综合起来的产物。”①这个关于技术科学的精确定义，将技术科学的研究对象与基础科学、工程技术的研究对象严格区别开来，为技术科学划定了疆域和边界，赋予学科具体的内涵，使技术科学名副其实，推动其走向独立。后来，钱学森关于技术科学概念的观点得到了普遍的认同和接受。如应用力学家张维说：“技术科学是介于自然科学和工程技术二者之间的。”它“是从不同的工程技术提炼或发展出来的，并有共同性问题的学科。”②许多国外学者的论断也与钱学森的观点不谋而合。按照工程科学的首创者之一、1963年工程科学学会的筹建人爱瑞金（A.C.Eringen）的定义，工程科学是指“将物理学、数学、化学与生物学，应用于求解工程学问题。”因此，技术科学本质上是数学性质的，是把数学的准确性和工程学问题的现象熔合在一起的，它包括许多种效应——磁学的、弹性的、水动力学的、动力学的、化学的、生物学的，等等。③

第二节　技术科学的学科性质:基础科学与工程技术的综合

每门科学的研究对象都有一定的范围和界限。基础科学是关于自然界的有系统的理论知识，但它不能提供解决实际问题的具体方法。工程技术是关于改造世界的知识。技术科学是科学与技术综合而产生的新知识，具有与自然科学、工程技术不同的性质，它能给解决实际问题提供直接的理论指导。应用力学最能体现技术科学的特征，钱学森经常以应用力学为例说明技术科学的性质、内涵及其与工程技术、自然科学的联系与区别。

经典力学是以牛顿力学为基础研究固体、液体和气体的平衡与运动的科学，属于物理学的分支学科。因为大量使用数学，它常常也被视为数学的应用学科，如近代科学先驱达·芬奇在笔记中写道：“力学是数学的乐园，因为我们在这里获得了数学的果实”。④这种观念在相当长的时间里左右了科学界。1904年，普朗特提出“边界层”概念的著名论文就是在国际数学家大会上宣读的，因为传统的理论力学与数学的联系十分密切，有时被称为数学力学。实际上，普朗特研究的应用力学与传统的数学力学有着很大的区别。自20世纪初兴起以后，经过将近半个世纪的发

① 《我们的目标（发刊词）》，《力学学报》1957年第1期。

② 张维：《谈技术科学》，载张维等：《谈技术科学》，知识出版社1986年版，第1—8页。

③ ［英］O.A.拜格：《当代世界领先的工程科学大师们》，康振黄译，四川科学技术出版社2008年版。

④ 转引自［美］S.P.铁木生可：《材料力学史》，常振楫译，上海科学技术出版社1961年版，第4页。

展，应用力学已由涓涓细流汇成滔滔大江，然而在传统的科学界仍没有独立的学科地位，经常被当作应用数学或者物理学的亚学科。有时，应用力学在许多场合被视为航空工程的一个研究领域，或被算作某个工程技术的分支学科。不过，钱学森坚持认为，应用力学不同于经典力学，更不属于物理学，它是基础科学和工程技术结合而创造出的新学科，属于技术科学。1961 年，他特别阐述了应用力学与基础科学、工程技术的关系，说："它以基础科学为基础，又与生产实践有密切联系，而介乎基础学科和工程学科之间。与基础学科（如数学、物理、化学）相比，它显得更接触到具体问题，而与工程学科相比，它又显得更具有概括性。由于它是用基础理论来解决工程和生产实践中所遇到的问题，所以它也是理论学科。"应用力学"把理论和实际紧密结合起来的要求，是十分明显的。"它"离开了理论基础，就解决不了问题，而离开了生产实践，就将失去其生命力。"①这是钱学森对应用力学与基础科学、工程技术联系与区别的经典表述。

不过，由于研究者的态度和学术旨趣不同，对应用力学学科性质的认识也不太一致。有的力学家主张将应用力学纳入物理学范畴，属于基础科学。1950 年物理学家周培源、王竹溪在总结中国物理学的成绩时，把力学作为理论物理学的分支之一，将力学与相对论、量子力学、统计力学、热力学、电磁学等并列，还将力学分为流体力学和弹性体力学两大部分。②在另外一篇文章中，周培源仍认为"力学是物理学组成部分之一"，并说按科学体系的内容来讲，力学专业的主要专业课程可分为三大类型：流体力学、弹性体及塑性体力学、一般力学及应用力学。③这里所说的"力学"，与应用力学的研究内容非常接近。这反映出，以数理分析和湍流理论研究见长的周培源与以工程应用为旨趣的钱学森在对应用力学学科性质的看法上存在着一定的差异。

1950 年代以来，力学在理论与应用领域都有突飞猛进的发展，学科特征也发生了重大变化。与此相适应，钱学森对应用力学的看法也有了很大变化。1982 年，钱学森在中国力学学会第二届理事会扩大会议开幕式上发言，认为力学有两个服务对象，一要为工程设计服务。"力学工作，或者说应用力学工作，主要方面应为工程技术服务，为工程技术的设计服务。"二要为发展自然科学服务。他说，1930—1950 年代，由于航空、航天事业的要求，力学工作者肩负的任务是为工程技术服务，能抽出力量去考虑为自然科学服务的很少。现在看来，为自然科学服务还有很多重要的工作要做。譬如：物理力学，一方面是力学的需要，另一方面对于物理的

---

① 钱学森：《近代力学的内容和任务》，《人民日报》1961 年 11 月 10 日。

② 周培源、王竹溪：《中国近三十年来之理论物理》，载《周培源文集》，北京大学出版社 2002 年版，第 3—7 页。

③ 周培源：《力学是和国家建设有密切联系的科学》，《光明日报》1954 年 7 月 22 日。

物质结构,物质性质也有贡献,所以物理力学是物理与力学的结合,是力学为物理服务,也是物理为力学服务。生物力学,力学与生物学的交叉,所以形成生物力学这个新学科。地学力学,即地学与力学的结合。天文力学,即力学与天文学的结合。化学力学,即力学与化学的结合。换句话说,"力学可以为数、理、化、天、地、生服务,反过来,它们也可以为力学服务,这样,力学与自然科学的发展结合起来了。应用力学作为一门技术科学,本来是从基础科学物理发展出来的,但这门技术科学又反过来向作为基础科学的物理、数学、生物、地学、天文、化学'反馈'了。"而且,这两个服务不是截然分开的,而是有交叉的。①不过,钱学森始终主张应用力学主要在于应用方面,属于技术科学。如 1988 年一位物理学史研究者写信给他,说由其主编的《中国近代物理学家论文选》准备收入钱学森 1930 年代发表的应用力学论文。钱学森回信说:"我在三、四十年代搞的决不是近代物理学,是应用力学,即技术科学。所以我们个人感情不能算数,而应尊重科学门类的划分,严格地遵守!""因此,我还是不同意把我的老旧货收入您主编的《中国近代物理学家论文选》,务恳您同意我的看法。"②最终,该书编者接受了钱学森的意见,没有收入他的论文。

当时,国内力学界普遍认为力学兼有基础科学和应用科学的二重属性,既是基础科学,又是技术科学。如周培源认为:就力学的性质而言,"力学属于基础科学,和数、理、化、天、地、生一起共称七大基础科学。"而"就它的应用范围和广泛性来说,力学也属于技术科学。"③国际上,从学术团体"国际理论与应用力学联合会"的名称来看,将力学分为理论力学与应用力学两大部分是世界力学界的共识,而中国力学学会的英文译名也是 Chinese Society of Theoretical and Applied Mechanics,同样将力学分为理论力学和应用力学两大部分,既是基础科学又是技术科学。关于二者的区分标准,郑哲敏认为,一般地,如果主要是为了深入探讨与认识某种力学规律,并无明确的直接应用目标,或者研究某种规律的必要性是从众多可能的应用中提炼出来的,在现阶段又并不限于某一特定应用,可以称之为理论力学。另一方面,如果为了解决实际应用中某些特定的问题,则属于应用力学的范畴。④

技术科学与基础科学、工程技术的关系,是钱学森努力阐明的另一个问题。他认为,技术科学是"综合基础理论和工程技术的工作,是具有高度创造性的工作"。⑤技

---

① 钱学森理事长在中国力学学会第二届理事会扩大会议开幕式上的讲话,载中国力学学会:《力学与生产建设——中国力学学会第二届理事会扩大会议论文汇编》,北京大学出版社 1983 年版,第 1—6 页。

② 钱学森:《致戴念祖的信(1988 年 11 月 17 日)》,载《钱学森书信集(4)》,国防工业出版社 2007 年版,第 327 页。

③ 周培源:《谈谈对力学的认识和几个关系问题》,《力学与实践》1979 年第 1 期。

④ 郑哲敏:《谈谈应用力学》,《力学与实践》1995 年第 17 期。

⑤ 《我们的目标(发刊词)》,《力学学报》1957 年第 1 期。

术科学是具有科学基础的工程理论，既不是自然科学，也不是工程技术，而是二者的"化合物"，不是"混合物"。因为，它不是从自然科学推演出来的，也不是工程技术实践经验的简单总结，更不是二者简单的混合，而是二者创造性结合而产生的新知识。技术科学的研究对象来源于工程实践，理论依据来源于基础科学，研究结果是不同于前两者的新知识，属于新的科学部门。言外之意，作为服务工程技术的技术科学，吸收和借鉴基础科学、工程技术的知识，却没有变成上述任何一个学科的分支，而是成为独立存生的学科。技术科学与基础科学、工程技术复杂关系的厘清，巩固和加强了技术科学的学科地位。在专业分工越来越明显的形势下，这对促使技术科学研究人员建立职业认同，增强与科学家、工程师的对话能力，具有十分重要的意义。

确切地说，技术科学与基础科学、工程技术既有区别，又有密不可分的联系，是沟通基础科学与工程技术的桥梁。钱学森说："必须承认这三个领域的分野不是很明晰的，它们之间有交错的地方。""这三个领域的界限不是固定不移的，现在我们认为是技术科学的东西，在一百年前是自然科学的研究问题，只不过工作的方法和着重点有所不同。""在任何一个时代，这三个部门的分工是必需的，我们肯定地要有自然科学家，要有技术科学家，也要有工程师。"[①]在钱学森看来，技术科学的发展水平主要取决于两个方面，一是基础科学的水准，它是技术科学的理论基础；二是工程技术的水平，它是技术科学的实践基础。基础科学为技术科学提供新概念、新原理、新知识，而技术科学以基础科学研究成果为原料，结合工程实践，向工程技术提供新途径、新方法、新技术等基础技术，推动工程技术发展。技术科学的建立和发展，必须突破学科畛域，需要数学、物理、化学等学科的通力协作，还需要工程师的参与。基础科学是对自然现象与规律的认识，如果认识活动停止了，技术科学就失去了创新的理论工具，将会停滞不前。"问渠那得清如许？为有源头活水来。"基础科学是技术科学的源头活水，技术科学不能仅仅考虑应用，忽视对基础科学的关注，否则将会成为无源之水、无根之木。工程技术是技术科学发展的驱动力量，不断对技术科学提出新的问题，解决这些新的问题往往会带动技术科学的发展。所以，发展技术科学必须熟悉工程技术的发展状况，了解其实际需求。技术科学研究的目标是建立具有科学基础、近似的实用性工程理论，当发现已有的基础科学成果不够使用时，必须吸收和运用工程技术中的经验规律和判断。在这一点上，技术科学明显不同于基础科学。另一方面，技术科学不同于工程技术，因为它是研究和解决工程技术中带有普遍性的问题，而不是解决某一个具体的技术问题。为了搭

① 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》1957年第4期。

建基础科学与工程技术之间的桥梁，技术科学家必须充分掌握基础科学研究成果，深入了解工程技术中的基本问题。工程师面临的是多因素、复杂的实际问题，所以技术科学家必须善于从纷繁复杂的现象中寻找主要矛盾，从理论上加以研究，创立既有充分的科学依据又能被工程师用于设计、甚至有预测能力的定量理论。

总之，技术科学绝对不能墨守成规，必须积极汲取基础科学最新成果，结合工程技术发展需要，寻找新的增长点，开拓新的研究领域，实现自身可持续发展。这也要求，技术科学家对基础科学进展要有敏锐的洞察力，在相关领域具有深厚的内功，这样才能迅速捕捉到新的热点，敢于跟进，从而做出新的成果。需要注意的是，技术科学不能淡忘它的独立性，比较理想的状态是在它的独立性与综合性、开放性之间保持一种适度的张力，在坚持学科独立性的前提下考虑对其他学科的综合性利用与开放性摄取。

第三节　技术科学的价值与功能

在很大程度上，一门科学的价值与功能取决于其学科性质。自然科学与工程技术综合的学科属性，决定技术科学具有应用与理论上的双重价值。

一方面，技术科学"是从自然科学和工程技术的互相结合所产生出来的，是为工程技术服务的一门学问。"①很明确，它是"工程师的科学"，研究对象来自工程实践，主要目标是为工程技术服务，并指导未来的工程实践。钱学森还说过，技术科学"是同生产有密切关系的学问，一件技术科学研究的成功或失败，完全要看它在生产上起不起作用，能不能改进生产方法"。②对于技术科学家来说，学以致用是必须奉行的原则，研究结果为工程师采用是其最大的任务。

技术科学如何为工程技术服务呢？1961 年，钱学森比较系统地论述了应用力学的任务：第一，为工程师、设计师服务；第二，从工程技术和生产实践所发生的新问题中提炼出具有一般性的课题，进行研究并予以解决，这样就不只是解决个别的具体问题，而是解决一系列的实际问题；第三，在掌握生产实践知识和精辟的力学理论的基础上，创立新的科学见解，从而改进工程技术，改造生产。③在这三类工作中，第三类工作最具创造性。他说，技术科学"能够灵活地把理论和实际结合起来，创造出有科学根据的工程理论。""有了工程理论，我们就不必完全依赖工作经验，

① 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》1957 年第 4 期。
② 钱学森：《技术科学中的方法论问题》，《自然辩证法研究通讯》1957 年第 1 期。
③ 钱学森：《近代力学的内容和任务》，《人民日报》1961 年 11 月 10 日。

我们就可以预见，这正如有了天体力学的理论，天文学家就可以预见行星的运动，预告日蚀、月蚀等天文现象。由这一点看来，工程理论又是新技术的预言工具。因而技术科学也能领导工程技术前进，是推进工程技术的一股力量，是技术更新、创造新技术所不可或缺的一门学问。”[①]显然，这类工作在更高、更深的层次上体现出技术科学对工程技术的深远影响。总之，技术科学一方面能帮助解决工业生产中遇到的一般性的技术问题，“研究的成果就对那些工程技术问题有普遍的应用”；另一方面，还能走在工程技术前面，通过理论研究为工业发展指引方向，催生新工业。

钱学森曾从空气动力学与飞机外形设计的关系，揭示技术科学对工程技术进步的巨大贡献。1903 年莱特兄弟成功研制出世界上第一架带有动力的飞机，实现了人类千年的飞行梦想，并激发了人类对飞行理论的深入探求。莱特兄弟的成功，综合运用了早期的空气动力学知识。此后，凡有重大技术突破的飞行器都与空气动力学的进步有关。20 世纪初，环量和升力理论的建立，奠定了低速飞机设计的基础，使重于空气的飞行器成为现实。普朗特有限机翼理论的建立，指出要减少飞机的感生阻力，应加大翼展比，也就是把翼面做得狭而长。附面层理论的提出，不但给设计飞机翼形和飞机舱形以原则性指导，而且指出要减少寄生阻力，必须减小附面层的面积，也就是减少表面面积。“由于这一结果，飞机的设计才由多翼面的、带支柱的外形，走向单翼面、完全流线型化了的外形。”与此同时，固体力学的研究成果，奠定了全金属飞机结构的理论基础，使飞机由不够坚固的、钢架蒙布式的结构过渡到全金属的薄壳结构。1940 年代中期至 1950 年代，可压缩气体动力学理论的迅速发展，特别是跨声速面积律的发现和后掠翼概念的提出，帮助飞机突破“声障”，实现了跨声速和超声速飞行。另一方面，气体动力学家参加了喷气推进机的创造和发展，气动热力学、稀薄气体动力学、再入物理及超声速烧蚀理论等的建立，为飞行器高超声速再入大气层的飞行提供了理论指导，帮助超高空、超高速飞行的实现，并促进了星际航行的诞生，标志着空间时代的开始。[②]因此，空气动力学是研制航空航天飞行器的支撑理论，它的作用是基本而广泛的，推动了各类飞行器的研制和发展。从中也可看出，技术科学中每一个新概念、新知识的提出，往往会引发工程技术的更新换代。

在此基础上，钱学森将技术科学对工程技术影响的认识拓展到更为广泛的领域，在理论剖析的深度上也迈上了新的高度。现代生产技术上的重大变革，没有是从实际经验中摸索出来的，必须依靠技术科学的指导，没有技术科学的基本研究，就不可能取得技术上的重大独创。对此，钱学森说：“技术科学的研究对象是具有

---

①② 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》1957 年第 4 期。

一般性的，它的研究成果也有广泛的应用。力学的工作，虽然是由于航空技术迫切的要求，但是，现在已经得到的流体力学和固体力学的研究结果，对其他工程技术部门来说也有很大的帮助。例如燃气轮机的创制成功是离不开气体动力学的；而掌握了高速气流动力学以后，我们也就很自然地把高速化学反应用到化学工业中去的可能性。这些力学在航空技术以外的应用对将来的工程技术都是非常重要的。它也说明了，通过技术科学研究中的总结，一个技术部门的经验与成就就能超越它们的局限性，伸展到其他方面去，推进了另一些技术部门的发展。技术科学家也是利用这一可能性来预见新技术，指出工程技术下一阶段的发展方向。”[①]这从更高层次上阐明技术科学对工程技术进步的影响，技术科学不仅能对传统工业进行革命性改造，还能开辟新的技术领域，形成新的工业部门。二战后，除了航空、航天、信息产业外，原子能、半导体、激光、生物工程等技术科学理论的建立，直接促进这些新兴产业的兴起，而这些技术科学的理论基础来自核物理学、量子力学、分子生物学等基础科学。这些事实进一步证明，技术科学可以在更高层次上引导工程技术的创新和发展。

反过来，工程技术的进步也会刺激技术科学的发展。因为，工程技术的发展往往会对技术科学提出新的要求，激发从理论上去研究，从而带动技术科学的发展。所以，可以说工程技术是技术科学发展和演化的重要动力。钱学森不惮其烦地引用大量案例来说明技术科学是适应工程技术发展的需要而建立起来的，它在解决工程技术问题过程中向前不断发展、壮大。他以流体力学为例说：“因为航空工业和技术的发展，先提出了附面层问题，这对粘性流体运动的研究，有莫大的推进。以后因为喷气推进机出现而有超音速飞行，又提出了气体动力学问题，给流体力学指出了新方向。现在又因为超高速飞行和人造卫星问题，需要研究流体力学的科学家来注意高温气体的动力学和高空稀薄气体的动力学。”[②]附面层理论是应用力学处理工程问题的样板，从中可以看出怎样从工程中提出力学问题，怎样使用应用力学的方式解决问题，应用力学又是怎样在解决工程问题中向前发展的。二战后，航空工业对飞机轻、快、安全的要求，对技术科学提出了大量的挑战性课题，如声障、热障等现象的攻克，推动了应用力学全面进步。新型飞行器的发展，要求建立新的概念、新的方法和新的技术，必须创造新概念、新方法、新技术和新理论。

总之，技术科学能够带动工程技术不断取得突破，而工程技术的发展又可以为

---

① 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》1957 年第 4 期。

② 钱学森：《一门古老而又年青的学科》，《人民日报》1956 年 6 月 11 日。

技术科学提供新的学术增长点，是技术科学发展的重要推动力，技术科学与工程技术之间是互动、促进的关系。冯·卡门曾说过，“在航空发展初期，飞行理论几乎与实用技术并驾齐驱。”“在科学史上，像航空那样理论与实践平行发展可以说是绝无仅有的情况。比如，热力学基础理论问世后多年，才造出热力发动机；电磁理论发表后，经过漫长的岁月，才有人想到运用它来搞电气工程。原子理论的出现也比它的实际运用超前了几十年。”①空气动力学是在人类长期努力实现飞行的实践基础上建立起来的，又随着航空航天技术的进步而飞速发展，它与航空航天飞行器的发展最能体现技术科学与工程技术互动互惠的密切关系。

另一方面，技术科学具有一定的认识世界的功能。钱学森以运筹学、控制论等为例阐明这种功能。他指出：“控制论、运筹学在基础科学里是没有祖先的”，是从工程技术、技术科学里面发展出来的。自然科学不是尽善尽美的，不可能把工程技术完全包括进去。“技术科学却把工程技术中的宝贵经验和初步理论精炼成具有比较普遍意义的规律，这些技术科学的规律就可能含有一些自然科学现在还没有的东西。所以技术科学研究的成果再加以分析，再加以提高就有可能成为自然科学的一部分。”如控制论的诞生，把人类知识领域从物质、能量扩大到信息领域。又如“工程控制论的内容就是完全从实际自动控制技术总结出来的，没有设计和运用控制系统的经验，决不会有工程控制论。也可以说工程控制论在自然科学中是没有它的祖先的。”工程控制论的应用，并不局限于人为的控制系统，“在自然界里，生物的生长和生存都有它们自己的相应控制系统；而这些自然控制系统的运行规律也是依照工程控制论中的规律的。所以工程控制论中的一些规律，必然是更广泛的控制论的一部分，而这个更广泛的控制论就是一切控制系统（人为的和自然的）的理论，它也必然是生物科学中不可缺少的，是生物科学的一部分。”由于“从前生物学家因为没有控制论这一工具，所以只看到了生命现象中的能量和物质运动问题，没有注意到更关键的控制问题，因而歪曲了实际，得不到深入的了解。”②因此，作为技术科学的工程控制论对生物科学“是有非常重要的贡献的”。后来，系统科学、信息科学的发展事实，证明这一见解极富远见。所以，认识自然并非自然科学的专利，技术科学也是认识自然的重要手段之一。并且，力学与基础科学结合，产生了生物力学、地球动力学、物理力学、计算力学等新学科。

此外，力学在为工程技术服务过程中发展出许多行之有效的力学方法，它们可以用来为发展自然科学服务。应用力学不仅善于使用一切现有的数学工具，还创

---

① ［美］冯·卡门、李·爱特生：《冯·卡门——航空与航天时代的科学奇才》，曹开成译，上海科学技术出版社1991年版，第70—71页。

② 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》1957年第4期。

造出不少数学方法和工具，如无量纲方法、相似律方法、能量法、摄动法等，这些方法为其他领域提供了重要的研究工具。郭永怀在康奈尔大学从事跨声速流动中的重大理论问题研究过程中，推广了庞加莱的变形参数法和莱特希尔的变形坐标法，将之发展成为后来的 PLK 方法（庞、莱、郭）。如今，奇异摄动理论（PLK 方法）已发展成比较完整和系统的学科，是力学、声学、大气、海洋和工程领域解决弱非线性问题的有效方法。

此前，人们认为基础科学是认识世界的源泉，如 V.布什在《科学——没有止境的前沿》中写道："基础研究将导致出新的知识。它提供科学上的资本。它创造了这样一种储备，而知识的实际应用必须从中提取。……基础科学已成为技术进步的带路人，这比以往任何时候都更加明确。"[①]这给人以深刻的启迪，对扭转美国社会"重应用轻基础"的观念以及美国科学的后来居上具有重大的历史意义。然而，"基础科学研究是科学的资本"后来被奉为金科玉律，以为唯有基础科学才是认识世界的源泉，技术科学只是基础科学的延伸和应用而已。20 世纪以来的科学技术发展事实表明，许多原创性的发现和认识源自技术科学领域，最为突出的例子就是源于战时后勤工作研究的运筹学以及源于通讯的信息科学技术。所以，现在的观点可以改为，科学的认识既有来自基础科学的研究，也有来自技术科学的研究，它们都属于科学实践的范畴，都以发现和创新作为追求的目标。[②]因此，钱学森提出技术科学也是认识世界的重要手段，是对技术科学的价值与功能认识的一大突破。

第四节　技术科学研究的方法论

近代科学最大的发明是发明了科学发现的方法。科学方法是解决问题的工具，其意义远远超出所要解决的问题的本身，数学家华罗庚常说："新的数学方法与观念，常常比解决数学问题本身更重要。因为它们有更普遍的作用和意义，并能将数学引向深入发展。"[③]科学方法本身具有不可替代的工具意义，它是各种理论诞生的必由之路，并决定着一个学科的生存和发展，以至于许多学者将是否具有自身的研究方法作为判断一个学科是否发展成熟的重要标准。在几十年研究与实践经验的基础上，日积月累，举一反三，钱学森透彻地领悟到技术科学研究方法的精髓，逐步凝练出它的研究方法体系。

---

① ［美］V.布什等：《科学——没有止境的前沿》，范岱年、解道华等译，商务印书馆 2004 年版，第 12 页。

② 郑哲敏：《关于技术科学与技术科学思想的几点思考》，《中国科学院院刊》2001 年第 2 期。

③ 王元：《华罗庚》，开明出版社 1994 年版，第 79 页。

技术科学是自然科学与工程技术的综合，它的研究方法必然也是自然科学与工程技术研究方法的综合。钱学森认为，做技术科学研究，首先要清楚认识所要研究的问题的机理。“这里包括确定问题的要点在哪里，什么是问题中现象的重要因素，什么是次要因素；哪些因素虽然也存在，可是它们对问题本身不起多大作用，因此这些因素就可以略而不计。”然后，“运用自然科学的规律为摸索道路的指南针，在资料的森林里，找出一条道路来。这条道路代表了我们对所研究的问题的认识，对现象机理的了解。”“在摸索问题关键点的时候，我们依靠自然科学的规律。这也说明技术科学的工作者必须要能彻底掌握这些客观规律，必须知道什么是原则上可行的，什么是原则上不可行的。”其次，问题认识清楚之后，着手建立模型。模型是通过“对问题现象的了解，利用外面考究得来的机理，吸收一切主要因素、略去一切不主要因素所制造出来的‘一幅图画’，一个思想上的结构物。这是一个模型，不是现象本身。因为这是根据我们的认识，把线性简单化了的东西；它只是形象化了的自然现象。”模型的选择与现象的内容有着密切的关系，不同的情况可以有不同的模型。再次，根据模型进行分析和计算。这里“必须运用科学规律和数学方法。但这一步是‘死’的，是推演。这一步的工作是出现在科学论文中的主要部分，但它不是技术科学工作中的主要创造部分。它的功用在于通过它才能使我们的理解和事实相比较；唯有由模型和演算得出具体数据结果，我们才能把理论结果和事实相对比，才可以把我们的理论加以考验。”① 至此，完成了一个工程实践——科学理论——工程实践的研究周期。这套研究方法和程序，现已是应用力学界普遍采用的“分析——实验——数值实验或分析”方法。

从表面上看，技术科学的研究方法与自然科学没有多大不同。对此，钱学森说：“这里没有绝对的差别，但是有很重要的相对差别。”相对于自然科学而言，最大的不同在于技术科学的研究对象工程技术里面存在比较多的没有严密推理和分析的原始经验，因此技术科学也“包含不少的经验成分，而且因为研究对象的研究要求的不同，这些经验成分总是不能免的”，这必然“影响了技术科学的研究方法，它在一定程度上是和自然科学的研究方法有所不同”。这也直接影响到技术科学的工作方式，因为“技术科学是从实践的经验出发，通过科学的分析和精炼，创造出工程技术的理论。所以技术科学是从实际中来，也是向实际中去的。”因此，“技术科学工作者必须经常和工程师们联系，知道生产过程中存在的实际问题。有时一个技术科学工作者也直接参加解决生产中发生的问题，以取得实践的经验。”“一个技术科学工作者的知识面必然是很广阔的，从自然科学一直到生产实践，都要懂得。

① 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》1957 年第 4 期。

不仅知识广，而且他还必须要能够灵活地把理论和实际结合起来，创造出有科学根据的工程理论。”①由此可见，技术科学的研究方法与自然科学没有什么本质上的差别，只不过技术科学的目的在于应用，所以，深入而不是肤浅地了解应用对象、应用环境、应用条件显得特别重要。

在这里，钱学森反复强调须要注意两条原则：一是对现象实际机理的分析，以认清问题中最为重要的因素。“在实际现象里，不像提炼了的基础科学问题，内容很复杂，千头万绪，要同时顾到其中每一个因素是不可能的，那样做势必至于无法进行计算。所以研究的第一步就是实事求是，做到完全了解问题重点所在，专为这一个问题制造出一个简单的模型，使模型里只包括机理里面最重要的因素。”“在深入分析问题的机理的时候，也常常会发现手头资料不够，那就必需做新的实验。”因此，研究技术科学要理论和实验并重，不可偏废。二是注重运算手段，采用最有效的数学工具。他以物理力学为例说：“物理力学是要解决具体问题的，要做到工程师们能使用物理力学的成果，不能满足于原则上的解决，一定要有数据。这样就必需把运算做到彻底，因而计算也就烦难了，‘死’算是不行的，不采用高效率的运算方法自然就不能完成这个工作。”这两条原则是他从几十年的应用力学研究经验中总结出来的，“没有这两条，就没有力学里面的创造。”②技术科学研究方法的精髓，钱学森用过一句话做过概括：“力学的窍门就是两招。第一招就是要形成一个代表事物的模型，再一招就是一套比较灵巧的计算方法，使得最后可以得出工程师有用的结果。”③这两条原则一直是应用力学家的基本理念和追求目标，从中我们不难发现技术科学工作方法的基本特征：

第一，重视物理直观能力。

与自然科学家一样，技术科学家必须具备出色的直觉能力，还要拥有丰富的想象力。技术科学首重问题实际机理的分析，通过观察和思考，提出既能反映问题本质，又能建构可以具体进行定量分析的数学模型，这是最为核心的地方。应用力学虽是数学和工程的结合，但最为重要的还是力学分析，即怎样使用应用力学的观点从工程实践中提炼出力学问题。第一流的应用力学家都具有非凡的物理直观能力，如卡门评价普朗特：“Prandtl 学工程出身。他赋有稀有的理解物理现象的直观能力。他把这些现象表现为比较简单的数学形式的本领也是非凡的。Prandtl 对数学方法和技巧的掌握倒比较有限；有很多他的助手和门生在解决困难的数学问题上都比他强。但是，就抓住主要物理关系忽略次要以建立简化方程式组而言，他

---

① 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》1957 年第 4 期。

② 钱学森：《物理力学介绍》，《物理通报》1957 年第 4 期。

③ 钱学森：《现代力学——在 1978 年全国力学规划会议上的发言》，《力学与实践》1979 年第 1 期。

的能耐那是无人可比的。我认为，在力学领域中，他甚至可以跟伟大的前辈像 Leonhard Euler（1701—1783）和 D'Alembert 们相比拟。"①在卡门看来，普朗特解决力学问题靠的主要是力学思维，而不是高超的数学技巧。应用力学家须要充分认识和利用特定的工程问题的物理特点，分清主要和次要的力学因素，建构问题的力学模型，并由此建立简化的数学方程，而且这种数学方程使用当前的数学工具就可以求解，得到的解答并不因为忽略次要因素而丧失应有的精确度，这就是应用力学处理问题的主要特长。如附面层理论提出以后，飞机和船舶的摩擦阻力问题，在做了附面层理论的简化后，就可以进行数学分析和求解。机翼理论提出以后，机翼升力问题就可以进行数学上的处理，并确定升力沿着翼展的分布。

第二，数学是技术科学研究的重要工具。

有的人认为，从客观现象中提炼、建立数学模型，并加以解决，这是应用数学。钱学森却不以为然，认为："技术科学是工程技术的理论，有它的严密组织，研究它就离不了作为人们理论工具的数学。这个工具在技术科学的研究中是非常重要的，每一个技术科学的工作者首先必须掌握数学分析和计算的方法。"而且，"技术科学中的数学演算一般要比自然科学多，数学对技术科学的重要性也就更明显些。也因为技术科学中数学计算多，有时多得成了工作量中的主要部分，这使得许多技术科学的青年工作者误认为数学是技术科学的关键。他们忘了数学只不过是一个工具，到底不过是一个'宾'，不是'主'。"意即技术科学虽然大量使用数学，但不为数学所控制。他特别强调："一件好的技术科学的理论研究，它所用的数学方法是最有效的；但我们决不能反过来说，所有用高深数学方法的技术科学研究就都是好的工作。"②鉴于数学计算很多，钱学森特别重视力学分析与数学计算的有机结合，曾说："力学工作者是不怕数学计算的。力学计算中不但要在一般原则上论证推演，而且要算出具体结果。所以对于数学的方法和演算技巧，力学工作者是很讲究的。但这并不是说，没有高深的数学知识就不能解决问题。""问题不在于能不能，而在于好不好。用简陋的方法，虽然也能进行复杂的计算，但是太花时间，容易出差错，用高效能的方法就能节省时间，少出差错。所以我们一方面十分重视数学方法，因为它是一个非常有效的研究工具，另一方面又不过高地估价数学方法，它不过是我们计算中的工具。我们不能对数学工具寄予过多的幻想，它不能把本来是没有道理的理论变成有道理。如果你对问题的概念本来就是错误的，那么即使数学工具掌握得再好，数学技巧再熟练，也不能给你多少帮助。"③技术科学使用数学

① ［美］冯·卡门：《空气动力学的发展》，江可宗译，科学技术出版社 1958 年版，第 41—42 页。

② 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》1957 年第 4 期。

③ 钱学森：《近代力学的内容和任务》，《人民日报》1961 年 11 月 10 日。

工具是为了解决问题，与一般数学家的“应用数学”不一样。它不仅能将高超的计算技巧和严格的科学论证融为一体，还善于将抽象的理论与工程技术的具体应用紧密结合，它的核心任务是从工程实践中提炼出方程式，但求解方程式并不是技术科学的核心工作。

技术科学工作需要使用数学分析和计算的地方很多，许多分析与计算的方法如摄动法、能量法等，都是在技术科学工作中创造出来的，但技术科学不以发展数学为目的。钱学森认为：“数学方法只是技术科学研究中的工具，不是真正关键的部分。”“技术科学工作中最主要的一点是对所研究问题的认识。只有对一个问题认识了以后才能开始分析，才能开始计算。”虽然运用大量的数学工具，但更要求理解它们所包含的物理意义，这是技术科学工作与数学研究最大的不同。关于这一点，钱伟长也说过：“数学家们是在研究数学问题，从数学中找问题的。哥廷根学派是为了物理、化学和一般技术找问题，而要用高明的数学方法去说明物理或技术问题。首先要弄清物理或具体技术问题的本质。其实是要用数学上现已通用的表达方式去表达它，然后按实际问题的需要来求得实际的定量或定性答案。”①

可见，技术科学善于通过观察和思考，提出既能反映问题本质又能具体进行定量分析的简化数学模型，然后运用一切现有的有效数学手段，或发展新的数学方法，最终得到满足工程需要的解答。有时，还要分析所获得的结果，深入研究其中的规律，进一步指导未来的工程实践。

第三，重视发挥计算机的作用。

1940 年代后期电子计算机兴起后，逐渐在科学计算方面发挥出巨大的作用。考虑到大量运用数学分析和计算的特点，钱学森意识到技术科学的工作方式与方法需要进行变革，尽快引入计算机。他曾预言计算机将引起技术科学工作方式的革命，说：“在将来，我们不能想象一个不懂得用电子计算机的技术科学工作者。但更要紧的是：由于电子计算机的创造，数字计算方法将更加多用，技术科学的研究方法将起大的变化。……下一代的技术科学工作者的工作方法必定比我们这一代有所不同。”②此后，他多次提醒力学界要积极应对这个趋势。1950 年代以后，随着计算机性能不断提高，原来运用分析方法难以解决的问题，现在可以采用数值计算方法处理，出现了计算力学这一新的分支学科。在计算力学兴起过程中，钱学森没有做过具体的研究，但计算力学所取得的巨大成就证明了他的先见之明。后来，钱

---

① 钱伟长：《怀念同窗益友郭永怀教授》，载郑哲敏主编：《郭永怀先生诞辰九十周年纪念文集》，气象出版社 1999 年版，第 7—9 页。

② 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》1957 年第 4 期。

学森还将力学与计算机的结合作为力学现代化的重要标志，强调："必须明确要把电子计算机和力学工作结合起来，不然就不是现代力学，就不是现代化。"①

总之，技术科学把力学分析、应用数学、实验研究、简化数学模型巧妙地、有机地结合和利用起来，组成一套独特而有效的解决工程问题的处理方法，反过来又推动技术科学在不停的删繁就简中前进。此前，科学发展主要依靠理论演绎与受控实验，工程技术进步主要依靠实践经验，而技术科学综合二者的长处，将近代科学的实验方法、归纳方法与演绎方法结合起来，并吸收工程研究中的试错法，建立起技术科学的工作方法体系，形成经验主义与理性主义的统一。这给予技术科学的哲学基础一个满意的答案，在科学方法论上无疑也是一大贡献。

50 多年过去了，科学技术不断发展和丰富，钱学森当年总结归纳出来的研究方法经过不断深化、发展、创新，依然"青春依旧"，仍是技术科学最基本的研究方法。它让技术科学家正确观察事物，深刻了解科学与工程上的问题，从纷繁复杂的现象中提炼出问题，找到解决问题最为正确的方法，最终扎扎实实地攻克问题。郑哲敏一直坚持和发展技术科学工作方法，他说："应用力学发展了自己的一套行之有效的方法论。那就是在捕捉主要影响因素的基础上，建立数学模型，并发展了多种有效的解法，或用于求得解析解或用于求数值解。""这种方法论又是在力学研究中不断得到充实、创新与发展。这样，应用力学（及力学）就成为很有活力与前途的独立学科……我们的先辈们已经为我们树立了榜样。他们给我们定下的标准是很高的：既要深入实际的应用领域，又要搞清复杂实际问题的机理，建立可用于预测（即指导设计，加工工艺等）的数学模型，和给出数学问题的正确解。"②

第五节　对新兴研究领域的预测

技术科学自 20 世纪初建立以来，经过 50 多年的发展，在研究的视野、深度等方面远超初创时期，其研究方法也在许多领域大放异彩、洋洋大观。除了成熟和正在发展的领域外，技术科学的未来向何处去？在钱学森看来，技术科学属于方兴未艾的领域，工程技术的蓬勃发展不断向技术科学提出问题，为其提供了大显身手的舞台，而基础科学对世界认识的不断深入，又为技术科学提供了理论来源。以基础科学成果为基础，从不断发展的工程技术实践中提炼出共性问题，在理论上加以研

① 钱学森：《现代力学——在 1978 年全国力学规划会议上的发言》，《力学与实践》1979 年第 1 期。
② 郑哲敏：《谈谈应用力学》，《力学与实践》1995 年第 1 期。

究和概括，成为发展技术科学的基本道路。

1950年代中期，流体力学、弹性力学和塑性力学等学科的发展均已较为成熟，而帮助超高空、超高速飞行的实现以及适应星际航行需要的新学科如高超声速气动力学、稀薄气体动力学等学科，正处于快速发展的状态。钱学森汲取各个科学领域的发展成果，1957年在"论技术科学"一文中对技术科学提出了富有远见的预测，勾勒出无限广阔的前景，并针对我国技术科学的发展提出了许多具有重要意义的发展方向和研究课题（见下表）。

技术科学的几个发展新方向

部门学科	组成部分		研究的内容	成果的应用
	自然科学和技术科学方面	工程技术方面		
化学流体力学	1. 流体力学，气体动力学 2. 化学动力学	1. 化学工业 2. 冶金工业 3. 工业中燃烧装置	1. 有化学变化的流体运动 2. 固定和流体化的触媒床 3. 燃烧和爆震 4. 冲激管中的化学作用	1. 化学工业 2. 冶金工业 3. 工业燃烧问题 4. 内弹道问题
物理力学	1. 物理化学，化学物理 2. 量子力学，统计物理 3. 固体物理	1. 化学工业 2. 材料研究	1. 气体、液体、固体的热工性质 2. 固体材料强度及变形问题 3. 物质在不可逆过程中的性质 4. 气体在超高温中的性质	1. 一般工程技术 2. 高温技术
电磁流体力学	1. 流体力学 2. 电磁学 3. 电子物理 4. 天文观测	1. 超高速飞行技术 2. 原子能技术	1. 电磁流体的运动规律	1. 超高速飞行技术 2. 原子能技术
流变学	1. 流体力学	1. 油漆、食品工业等 2. 高分子化合物工业	1. 流变体测量方法的分析 2. 流变体运动规律	1. 轻工业生产技术和轻工业产品的改进 2. 超高压润滑剂和轴承
土和岩石力学	1. 固体动力学，固体力学 2. 强度理论	1. 挖土工程 2. 隧道工程 3. 爆破工程 4. 采矿工程	1. 土和岩石的物理性质 2. 爆破的动力学工程 3. 土壤加固问题	1. 土石工程 2. 采矿工程 3. 爆破工程 4. 挖土机械的设计

续表

部门学科	组成部分		研究的内容	成果的应用
	自然科学和技术科学方面	工程技术方面		
核反应堆理论	1. 原子核物理，中子物理 2. 热传导	1. 原子能利用	1. 反应堆理论，反应堆动态性能	1. 原子能利用
工程控制论		1. 随伺机械，工业控制系统 2. 自动化生产方法	1. 各种控制系统的分析和综合 2. 自动测量的系统 3. 自动校正的系统	1. 工业控制系统 2. 生产过程自动化
计算技术	1. 数理逻辑 2. 控制论	1. 自动控制系统 2. 电子工艺学	1. 模拟计算机 2. 数据计算机 3. 复合计算机	1. 科学问题的计算 2. 自动控制系统
工程光谱学	1. 物理光学，各种光谱 2. 量子力学，统计物理	1. 工业分析仪器	1. 光谱分析 2. 质谱分析 3. 辐射在不均匀气体混合物中的规律	1. 工业分析 2. 生产过程自动化中的控制测量
运用学		1. 工程经济 2. 经济规划 3. 运输规划 4. 生产规划	1. 线性规划，动态规划 2. 运输机问题 3. 排队问题	1. 工程经济 2. 经济规划 3. 运输规划 4. 生产规划 5. 产品系列化问题

说明：表格第一栏是学科的名称。第二和第三栏是这个学科在自然科学抽用的部分与在技术科学经验方面抽用的部分。这也就形成这个学科的资料，要从这两部分综合起来创造出这门技术科学。第四栏是现在可以看出来的内容，也就是研究题目。第五栏是这门学科研究成果的应用，也因此可以表现出这门科学的重要性。这个表格中，第三栏的技术经验组成部分和第五栏的应用方面常常是相同的，说明技术科学基本上是从工程技术上来，到工程技术中去的学科。

这份表格重点列出了化学流体力学、物理力学等10个新的发展方向，即10个新学科或“需要开拓的学科”。就每个学科而言，界定了问题的主旨和框架，指出这门新学科需要使用的基础科学知识和工程经验，凸显出它们是基础科学与工程实践的结合。然后，指出了各门学科需要考虑的研究内容以及学科成果的应用领域。值得注意的是，每门学科所吸收的工程经验与它的应用领域的名称是相同的，说明技术科学是从工程实际中来又回到工程实际中去的理论科学。

总的来看，表格中所列出的新方向具有以下特点：其一，将技术科学应用于传统工业的改造。在10个新学科中，有5个与应用力学有关，它们是将应用力学应用到化学工业、冶金工业、石油工业、动力工业，对这些行业中一些带有根本性的问题从理论上进行研究，以对这些行业生产效率的提高起到显著的作用。其二，将技

术科学思想与方法推广到其他科学领域。钱学森将刚刚兴起的运用学(运筹学)列入技术科学范畴,并揭示出这门新兴学科的特点:“这门学科也是在自然科学领域里没有祖先的。它是由于改进规划工作的实际需要而产生的。”其目的“是要用最有效的数学方法”,“创造出作规划的一般方法,建立起规划的理论。”①从这个角度来说,运筹学没有基础科学的来源,主要是从工程实践中提炼出来的技术科学。这个认识丰富和发展了技术科学思想,扩大了技术科学的阵地,彰显出它的综合性、开放性和强大张力。其三,希望通过发展技术科学来提高工业生产。表格中所列出的航空、航天、原子能等领域的问题都来自生产的实际需要,表明钱学森提倡和发展技术科学的用意在于改进和提高工业技术,将现代工业的发展建立在技术科学基础之上。其四,希望用技术科学推动社会科学精密化。在文章中,钱学森专门谈到运筹学在交通运输及经济规划中的作用,还以此为例对社会科学精密化问题做了科学分析,大胆预言技术科学的发展必将促进自然科学与社会科学渗透与融合,促进社会科学向精密化方向发展。他说:“通过了运用学把数学方法引用到社会科学各部门中去,我们就能把社会科学中的某些问题更精密地、更具体地解决”。“也许现在社会科学家们会认为这样就把社会科学弄得不像社会科学了,但是所以‘不像’,即正是因为有了新的东西,有了更丰富的内容,正是因为社会科学里产生了新的部门,这又有什么不好呢?”②如今,许多社会科学学科的发展事实充分映证了这一极具远见卓识的见解。其五,彰显出钱学森开阔宽广的学术视野,精通多门学科理论与工程知识。钱学森向来十分关注基础科学最新进展和工程技术发展趋势,这使他能迅速洞察基础科学和工程技术之间的暗区和尚未攻克的难题,从而为技术科学的进一步发展指出方向。

一般来说,科学史上的重大贡献有两类,一类是解决某个具体的难题,另一类是开辟新的研究领域。这两大方面不是截然分立的,有时是合而为一的。不过,无论怎么说,“发现问题比解决问题更重要。”希尔伯特 1900 年 8 月 8 日在第二届国际数学家大会上具有历史意义的报告中,特别强调新问题在数学发展中的重要性:“只要一门科学分支能提出大量的问题,它就充满着生命力;而问题缺少则预示着这门科学独立发展的衰亡或中止。正如人类的每项事业都追求着确定的目标一样,数学研究也需要自己的问题。正是通过这些问题的解决,研究者锻炼其钢铁意志,发现新方法和新观点,达到更为广阔和自由的境界。”还说:“手中没有明确的问题而去寻求一般方法的人,他们的工作多半是徒劳无益的。”③可见,是否具有新问

①② 钱学森:《论技术科学》,《科学通报》1957 年第 4 期。

③ [德]希尔伯特:《数学问题》,李文林、袁向东编译,大连理工大学出版社 2009 年版,第 38、46 页。

题往往是衡量一个科学领域兴旺发达的重要标准。钱学森指出技术科学存在着大量尚未开辟的领域，表明技术科学具有强大的生命力。1950年代以来，技术科学发展的历程和特征与钱学森当年的估计基本吻合，他所主张发展的新方向许多已经成为现代科学技术的热门领域，充分彰显出他当年判断的科学性和预见性。

第六节　本章结语

在技术科学需要理论总结而且可以进行总结时，钱学森将尚不成系统和未经解释的新思想、新知识聚集在一起，对半个多世纪以来的技术科学发展成果进行系统的整理，构建出技术科学思想体系。这些思想立足于19世纪末以来科学技术的发展成就，反映了当时技术科学的最高水平，并对各个领域的未来发展作出了科学的预测。在技术科学发展进程中，这是一次全面而深刻的总结和反思，使其面临的危机烟消云散，完成了技术科学史上空前、全面的大综合。就对技术科学思想发展的贡献及其对后世的影响而言，钱学森当属技术科学思想的集大成者。

综观钱学森对技术科学思想继承和发展的过程，具有以下几大特点：首先，强烈的学科意识是其最为突出的理论素养。强烈的学科意识，促使他多年来一直致力于技术科学的学科建构，从而确立了技术科学的学科框架和理论体系。其次，宽宏的科学视野是他的重要理论特色之一。这直接包含在他所提出的研究范式之中，鲜明地体现在通过技术科学向各个自然科学与工程技术领域渗透之中。再者，对旧的科学观和研究范式的革新精神。钱学森在思考技术科学的未来时，其视域远远超越了技术科学本身。1948年，他说："工程科学的真正本质是将基础科学原理转化为服务于人类福利事业的技术，这已经大大超出了目前工业的范畴。医学是应用化学、物理学和生理学来治病和防病，农业是应用化学、物理学和植物生理学来生产食物。"从"工程"这个词的广义意义上看，医学和农业都属于工程，而且二者都能从技术科学研究中受益。[①]换言之，将一切把基础科学转换为工程技术的学问都称为技术科学，这个认识是对技术科学精神最为精辟而科学的概括，大大扩充了技术科学的范畴，其意义之重大，不言而喻。由此也可看出，钱学森是一位不竭探索的学者，具有永不故步自封的进取精神，不满足于对以往成就的总结，主张吸收新的观点，利用新的材料，不断为技术科学开疆拓土。

---

① Hsue-Shen Tsien. Engineering and Engineering Sciences，王寿云编：《钱学森文集》，科学出版社1991年版，第550—563页。

第四章　技术科学思想与十二年科学规划

20世纪上半叶世界科学技术迅猛发展的态势及其对世界政治、经济与军事的巨大影响，使新中国领导人意识到必须大力发展科学技术，才能迅速有效地提高生产，改变国家落后面貌，建立强大的现代国防。随着朝鲜战争宣布停战，社会主义工商业改造完成，新中国逐渐进入建设时期。二战后，对科学技术事业进行干预或适当规划成为发达国家科技工作的普遍经验，社会主义国家苏联更是如此，于是制定科学规划被提上新中国政府的议事日程。

归国后不久，钱学森参加了十二年科学技术远景发展规划的制定，并担任科学规划综合组组长。其间，他及时将世界科学技术前沿信息介绍到国内，结合国家和社会需要，创造性地将技术科学思想与科学规划"重点发展，迎头赶上"的总方针以及"以任务带学科"的原则结合起来，建议国家重点发展技术科学，让技术科学获得了在中国植根、发展的历史良机。中国技术科学的建设和发展，为以"两弹一星"为中心的国防高科技事业提供了技术与智力支撑，从而获得社会的广泛认同并得以持续发展。另外，科学规划还在很大程度上决定中国科技发展的方向与特征，尤其是在科研资助模式、资助重点和规划制定方法等方面对中国科技发展产生了广泛而深远的影响。

第一节　科学规划制定的背景和过程

新中国成立之初，现代科学技术基础相当薄弱，许多科技门类处于空白状态，科研人员更是寥若晨星，根本没有形成完整的科技体系。令人感到庆幸的是，新中

国的中央领导集体越来越意识到科学技术对于国家建设的重要意义，清醒地认识到中国与世界先进水平的巨大差距，产生了赶超世界先进水平的紧迫感和使命感。1956 年初，周恩来总理指出："世界科学在最近二三十年中，有了特别巨大和迅速的进步，这些进步把我们抛在科学发展的后面很远。"他们对科技革命的进展也十分了解，认为世界科技发展的最高峰是原子能的利用，电子学和其他科学的进步而产生的自动控制机器大大提高了自动化水平，"人类面临着一个新的科学技术和工业革命的前夕"。特别强调："我们必须急起直追，力求尽可能迅速地扩大和提高我国的科学文化力量，而在不太长时间里赶上世界先进水平。这是我们党和全国知识界、全国人民的一个伟大的战斗任务。"[①]其时，国际环境对新中国极为不利，要摆脱贫弱落后、被动挨打的局面，必须依靠科学技术的力量，在学习苏联科学技术的基础上独立自主地建设本国的科技与工业体系。

1953 年，国家开始施行第一个五年计划，开展大规模的经济建设。生产建设领域提出了大量急需解决的问题，对极为薄弱的科技工作提出了很高的要求。此时，政府已经意识到科学工作对于国家建设的重要意义，认为："在国家有计划的经济建设已经开始的时候，必须大力发展自然科学，以促进生产技术的不断发展，并帮助全面了解和更有效地利用自然资源。"[②]根据经济建设需要有计划地发展科学，是社会主义国家发展科学事业的基本模式，而有计划地发展科学，必须要有一个长远的发展规划。1955 年 1 月，中国科学院院长顾问、苏联专家柯夫达向科学院提出制订科学规划的意见。其中，他说道："实现发展国民经济五年计划和远景规划中所拟订的措施，必须有科学理论根据。科学理论根据是社会主义建设不可分割的部分。"并且，建议"着手进行全国性的科学研究规划，以便集中中国科学院、各高等学校和各部的科学家们解决发展国民经济的五年计划和十五年规划中所提出的最重要问题"。[③]柯夫达是著名土壤学家、苏联科学院通讯院士，从事过多年的科学组织领导工作，1954 年 10 月奉派来华担任科学院院长顾问。在充分研究柯夫达的建议后，4 月 7 日科学院以郭沫若院长名义给周恩来总理和分管科技工作的陈毅副总理递交了《关于贯彻院长顾问柯夫达建议向国务院的报告》。报告认为，柯夫达的建议是正确的，对于全面规划和组织我国科学研究工作，推动我国科

---

① 周恩来：《关于知识分子问题的报告》，载中共中央文献研究室：《建国以来重要文献选编》(第 8 册)，中央文献出版社 1994 年版，第 11—45 页。

② 中共中央对中国科学院党组《关于目前科学工作的基本情况和今后工作任务给中央的报告》的批示(1954 年 3 月 8 日)，载中共中央文献研究室：《建国以来重要文献选编》(第 5 册)，中央文献出版社 1993 年版，第 164—168 页。

③ 柯夫达：《关于规划和组织中华人民共和国全国性的科学研究工作的一些办法(草案)(1955 年 1 月)》，载张柏春等：《苏联技术向中国的转移(1949—1966)》，山东教育出版社 2004 年版，第 473—481 页。

学事业的发展具有极为重要的意义。报告还阐述了编制科学事业长远规划的重要性和紧迫性,认为:"制定我国科学研究的五年计划和长远计划已是目前非常迫切的工作任务,必须采取有效措施,立即着手进行,否则,不但不能克服目前工作中的盲目性,也不能适应国家建设的需要。"①这份报告引起中央的高度重视,迅速责成国家计委、科学院与有关部门研究落实此事。

与此同时,科学院自身也积极着手编制科学规划。1954 年 6 月,科学院根据国家计委颁发的编制十五年国家经济长远规划的要求,分别召集院内外科学家,就数理化、生物学、地学、技术科学等方面的科学规划问题进行座谈。1955 年 6 月 1—10 日,科学院在京召开学部成立大会。期间,一些科学家提出建议,希望迅速制定发展全国科学事业的长远规划,并把科学院第一个五年计划与国家长远规划结合起来。6 月 2 日,郭沫若院长在全体学部委员会议上所做的报告中阐述了制订科学远景规划的重要意义,学部委员还就此进行了热烈的讨论。学部成立之后,这项工作便成为科学院的重要任务。鉴于长远规划的涉及面很广,科学院希望由国家计委出面,根据国家远景计划的要求主持科学规划工作。9 月 15 日,科学院第 39 次院务常务会议通过了学术秘书处起草的《关于制定中国科学院十五年发展远景计划的指示》,决定自 1955 年 10 月开始讨论制订科学院第一个至第三个五年计划期间发展远景计划。会后,科学院各研究所先从本单位所包括的各门学科出发,按照《指示》要求的内容,进行讨论,研究提出远景计划草案。各学部在此基础上就本学部范围内科学事业发展的步骤、速度、地区布局进行全面规划,编制出本学部远景计划草案。在规划制定过程中的 1956 年 1 月 5 日,国务院副总理兼国家计委主任李富春遵照毛泽东主席关于"全面规划,加强领导"的指示,给科学院党组书记、副院长张稼夫写了一封信,谈及制订科学规划的方针、方法和内容,指出:"这个规划必须是向科学和技术进军的规划,必须是迎头赶上世界先进水平的规划。"要求科学院主要做重点学科的规划。张稼夫接到信件后,立马于当月 7 日召开科学院党组会议,确定按照来信的要求,按期提出科学院的 12 年科学规划,规划的重点是重要学科的发展计划和重要专题的研究项目。还提出科学院党组要把制订这样一个规划作为科学院工作的中心环节,组织力量大力推进。②

科学院学术秘书处组织综合组,对各学部提出的远景计划方案进行综合平衡,在邀请科学家讨论以后,向院务常务会议提出全院的远景计划草案。三个学部和学术秘书处从 1956 年 1 月 23 日到 2 月 11 日,通过约 360 名科学家的共同努力,

---

① 郭沫若:《关于贯彻院长顾问柯夫达建议向国务院的报告》,《中国科学院年报(1955)》,1956 年,第 64—66 页。

② 路甬祥:《向科学进军——一段不能忘怀的历史》,科学出版社 2009 年版,第 13 页。

于3月10日提出《中国科学院十二年内需要进行的重大科学研究项目（自然科学与技术科学部分）》，共53项。这个规划既有学科规划，又有任务规划，项目内容涉及国防和尖端技术领域、资源考察开发与利用，还涉及国民经济建设中带有综合性、关键性的重大理论与技术问题，甚至还有像蛋白质的结构与功能及生物合成等前沿问题。这个规划最突出的缺点，就是没有依据国家建设需要来制定规划。不过，许多项目后来被吸收到“十二年科学规划”之中，成为后者的蓝本。可以说，科学院的前期准备工作，促使国家采取更大的举措，将科学规划的制定作为全局性大事来抓。

1956年1月14—20日，中共中央在北京召开关于知识分子问题的会议。14日，周恩来代表中央在会上做了《关于知识分子问题的报告》。报告一方面对1949年以后知识分子在政治上的进步和变化作了肯定的估计和判断，指出：“他们中间的绝大多数……已经为社会主义服务，已经是工人阶级的一部分”。另一方面，报告用四分之一的篇幅阐述科学工作，指出：“科学是关系到我们的国防、经济和文化各方面的有决定性的因素。”在科学技术巨大和迅速进步面前，我们已经落后很远，“必须急起直追，力求尽可能迅速地扩大和提高我国的科学文化力量，而在不太长的时间里赶上世界先进水平”。在这两个方面重要论断的基础上，报告着重阐述如何最大限度地发挥知识分子作用的政策和措施，以及发展我国科学技术的战略考虑和规划。在报告中，周恩来还做出了“向科学进军”的安排，要求国家计委负责、会同有关部门，组织力量，在三个月内制定出1956年到1967年科学发展的远景计划。他指出：“在制定这个远景计划的时候，必须按照可能和需要，把世界科学的最先进的成就，尽可能迅速介绍到我国的科学部门、国防部门、生产部门和教育部门中来，把我国科学界所最短缺而又是国家建设所最急需的门类尽可能迅速地补足起来，使十二年后我国这些门类的科学和技术水平，可以接近苏联和其他世界大国”。还强调“必须是一个既提高而又扩大的计划”。①这个报告表明，政府正打算采取重大措施来扩充国家的科学研究事业，提高科学文化水准。科学院党组书记、副院长张稼夫也在会议上作了发言，主要介绍科学院制定十二年规划的初步设想。

在会议的最后一天，毛泽东主席发表了简短讲话，提出要进行技术革命、文化革命；要搞科学，要革愚昧和无知的命。要求在比较短的时间内造就大批高级知识分子，同时要有更多的普通知识分子。号召全党努力学习科学知识，同党内外知识分子团结一致，为迅速赶上世界科学先进水平而奋斗。②当月25日，毛泽东又在最

① 周恩来：《关于知识分子问题的报告》，载中共中央文献研究室：《建国以来重要文献选编》（第8册），中央文献出版社1994年版，第11—45页。

② 中共中央党史研究室：《中国共产党历史》（第二卷，上），中共党史出版社2011年版，第385页。

高国务会议上指出:“中国人民应该有一个远大的规划,要在几十年内,努力改变我国在经济上和科学文化上的落后状况,迅速达到世界上的先进水平”。这些讲话实际上为科学规划工作定下了基调。

继关于知识分子问题的会议之后,中共中央政治局通过《中共中央关于知识分子问题的指示》,指出党有必要进一步地把知识分子问题放在全党和整个国家各个工作部门的议事日程中,全面规划,加强领导,克服工作中的缺点和错误,采取一系列有效措施,充分动员和发挥现有知识分子的力量。这些会议和讲话,在新中国历史上第一次把知识分子问题、发展科学问题,作为执政党的重大事项正式提出来。

在毛泽东号召“全党努力学习科学知识”的背景下,中央精心安排科学院学部主任向中共中央和国务院领导同志做报告,介绍中国科学发展情况。1956 年 1 月 21 日,毛泽东、刘少奇、周恩来、陈云、陈毅、李富春、邓小平等中央领导,各部、省、市负责人员等一千三四百人在中南海怀仁堂倾听科学院各学部主任的报告。吴有训、竺可桢、严慕光、潘梓年分别代表数理学部、生物地学部、技术科学部、哲学社会科学部介绍科学院四个学部的情况。他们从不同学科介绍世界上出现的新技术革命的趋势和科学领域的重要进展,帮助领导干部提高对科学工作的认识。这还使科学家们意识到新中国政府对科学事业的高度重视,竺可桢在当天的日记中写道:“大会极为庄严,料不到人民政府看科学如此重要”。①

关于知识分子问题会议的召开,在全国引起了强烈反响,周恩来的报告更是被知识界称作“像春雷般起了惊蛰作用”,使广大知识分子深受感动,为规划制定营造出宽松的社会环境。随后发生的一系列变化,使党同知识分子的关系得到明显改善,让科学工作者焕发出巨大的热情,参与国家建设的积极性空前高涨,积极响应“向科学进军,向知识进军,赶超世界先进水平”的号召,满腔热情地投入到工作之中。科学规划就在这样的背景下拉开了大幕。

中央决定由周恩来挂帅领导科学规划工作。在周总理的领导下,由陈毅、李富春两位副总理直接负责具体领导工作。1956 年 1 月 31 日,国务院召开包括中央各部门、各有关高等学校和科学院的科技人员参加的制定科学技术发展远景规划动员大会。会议由陈毅主持,李富春在会上做了《关于制定科学技术远景规划问题的报告》,确定了科学规划的基本内容和要求。会上,还宣布成立以范长江为组长,由范长江、张劲夫、刘杰、周光春、张国坚、李登瀛、薛暮桥、刘皑风、于光远、武衡等 10 人组成的“科学规划小组”,担负具体的组织、领导工作。规划小组的成员,均为与科学工作关系密切的单位的负责人。3 月 14 日,国务院成立“科学规划委员会”

① 竺可桢:《竺可桢全集》(14 卷),上海科技教育出版社 2008 年版,第 279 页。

以领导规划编制工作，陈毅任科学规划委员会主任，李富春、科学院院长郭沫若、国家经委主任薄一波、科学院副院长李四光为副主任，科学院党组书记张劲夫任秘书长，委员为来自政府有关部门、科学界的35位人员。在35位委员中，有尹赞勋、庄长恭、吴有训、李四光、竺可桢、茅以升、梁希、许杰、童第周、华罗庚、黄汲清、钱三强、钱学森、严济慈等科学家。会上，钱学森、赵九章、华罗庚、童第周、李熏、王淦昌、王守武等先后发言，共同表达了搞好规划制定工作的信心和决心。

起初，科学规划主要由科学院承担。自3月起，在科学规划委员会的领导下，规划小组以科学院数学物理学化学部、生物学地学部和技术科学部为基础，组织集中全国600多位科学家参与规划编制。4月，还邀请由16名苏联科学院院士、通讯院士和著名教授组成的苏联科学院代表团来华，对规划提出意见和建议，帮助了解世界科学技术水平和发展趋势，参加规划制定工作。根据中央的指示，科学规划小组决定将规划工作分为两个阶段进行：第一个阶段由科学院、各产业部门以及高教部门分别提出本部门的规划草案，在1956年2月底前完成；第二个阶段从3月开始，以科学院各学部为基础，会同全国科学家对各部门的规划进行综合和审查，汇总项目，确定国家重点发展的科学任务，编制出"十二年科学规划"（草案）。[①]第二个阶段尤为重要，为此特别成立了以科学家为主体的综合组。自2月下旬开始工作，综合组在综合科学院和各部门规划草案的基础上，提出了50个重大项目，并在3月16至20日向集中参加规划的科学家逐项介绍。经过充分研究讨论，项目数量与内容有所拓展，最后形成"十二年科学规划"（草案）的57项重大任务。关于综合组的成员，据薛攀皋考证，出现在综合组会议记录上的有22名科学家，其中学部委员16人。[②]

第二节　技术科学思想与科学规划的制定

一国科技发展的方向取决于该国的实际需求，国防安全、经济发展、穿衣吃饭等国计民生问题直接影响甚至决定科技发展的方向。1949年，第一次全国政协通过的具有宪法地位与功能的《共同纲领》第四十三条写道："努力发展自然科学，以服务于工业、农业和国防的建设。"这规定了建国初期科技工作的指导方针，即主张学以致用，发展科学的目的是为经济和国防建设服务。1954年3月8日，中共中

① 武衡：《科技战线五十年》，科学技术文献出版社1992年版，第162页。

② 薛攀皋：《中国科学院与国家"十二年科学规划"的编制》，载《科苑前尘往事》，科学出版社2011年版，第30—39页。

央对科学院党组提交的《关于目前科学院工作的基本情况和今后工作任务给中央的报告》的批示进一步阐述了这条方针，指出："在国家有计划的经济建设已经开始的时候，必须大力发展自然科学，以促进生产技术的不断发展，并帮助全面了解和更有效地利用自然资源。"①可见，科学事业积极配合国家建设需要，重点发展为国家建设任务的解决提供技术与理论的学科领域，才符合国家利益。另一方面，我国科学基础极为薄弱，尤其是科技人力资源十分稀缺，发展科学技术不可能面面俱到、齐头并进，必须有所为，有所不为，才有可能在不太长的时间里取得明显效果。

那么，对于科学基础薄弱、生产落后的中国来说，应该采用什么样的科学发展方针？哪些科学技术部门是国民经济和国防建设急需的？发展重点和突破口应放在什么地方？如此等等，成为摆在政府和科学界面前的难题。当时，从事基础研究的科学家倾向从学科角度进行规划，而来自产业部门的科学家倾向从建设任务出发进行规划，各有高见，争论激烈。经过多次讨论，最后两方面的科学家取得了共识。1956 年 4 月，国务院召开制定十二年科学远景规划专门会议，讨论研究制定规划的意义、方针、基本内容和方法等问题。会议确定了制订科学规划的任务和指导思想，确定以"重点发展，迎头赶上"为规划的总方针，以"任务为经，学科为纬，以任务带学科"为基本原则和方法，适当集中有限的力量，放到经济建设、国防建设和科学发展最急需、最带关键性的方面上去，大力开展研究工作，从而带动有关科学技术部门的迅速发展。关于科学规划的主要内容，会议确定了以下几个方面的任务：一、必须建立世界上已有的、又为我国国民经济和国防所必需的尖端学科，如喷气技术、计算技术、原子能和无线电电子技术等。二、基于我国的特点，需要进行综合性研究的大问题，如长江、黄河的综合治理、综合开发等。三、在国民经济建设方面和科学技术发展方面急需研究的关键问题，如农业、冶金、能源开发等。四、各业务部门在当前和不久的将来在实际生产和基本建设中需要解决的较大的科学技术问题。②也就是，"根据国民经济和国防建设对于科学技术所提出的任务进行规划"，兼顾科学自身的发展。

从规划原则和制定过程来看，直接为工农业、国防建设服务的学科，容易受到重视。因为，这些学科的服务对象属于国家计划发展的建设任务，对它们的支持有助于建设任务的完成。另一方面，这些学科有着明确的应用目标，可以根据建设任

---

① 中共中央对科学院党组《关于目前科学院工作的基本情况和今后工作任务给中央的报告》的批示，载中共中央文献研究室：《建国以来重要文献选编》(第 5 册)，中央文献出版社 1993 年版，第 164—168 页。

② 聂荣臻：《在科学技术战线上》，载《回顾与展望——新中国的国防科技工业(1949—1989)》，国防工业出版社 1989 年版，第 49—73 页。

务的需要有计划地发展，比较符合社会主义国家“计划科学”的体制性要求。而基础科学受求知欲望支配，目的是努力扩展科学知识，没有明确的应用目标，难以进行计划。由产业部门提出研究任务或课题，目标与方向比较明确，科研机构努力结合实际开展研究，使科研活动紧密结合建设需要，各种资源得到集中调控和配置，让计划科学体制的长处得到充分发挥，在一定程度上避免了以学科为先导有可能导致的研究工作进展缓慢，与实际需要距离较远等不利因素。对于新中国来说，发展工农业生产、建设国防是主要任务。一门学科是否具有应用价值以及能否适应社会主义计划科学的体制性要求，成为一个学科能否得到国家重视的关键。对于科学家来说，这是将自己所从事的学科与国家建设需要结合起来，让其充分发挥作用的大好机遇。哪些问题属于国家建设发展的重大任务？这些任务能够带动哪些学科？学科如何为国家建设任务服务？由于资源获取渠道的集中化和单一性，为了获得体制的资助，科学家只能努力使自己的研究内容纳入规划，这样规划无疑可以直接影响科技发展的方向和行为。

2.1　钱学森与科学规划项目的确定

参加科学规划，是一次参与制定国家科技发展战略的机会。钱学森深知这项工作的重要意义，为科学规划废寝忘食地工作，凭借认真负责的使命感、渊博深邃的思想与学识，站在别人难以企及的高度思考国家科学发展的重大任务及其所涉及的理论问题。

技术科学主要从生产实际中寻找需要解决的共性问题，然后进行理论研究，得出规律性的新知识，以指导工程技术开发和设计。这个研究理路比较容易适应“以任务带学科”的原则，所以技术科学既符合“科学面向生产”的原则，又适应计划科学体制的要求。技术科学一旦得到科学规划的支持，借助体制的推动，可以为经济建设、国防建设作出显著的贡献，并带动整个国家科技水平的提升。为此，钱学森设法利用各种机会宣传技术科学对国防建设与经济建设的重大意义，对科技前沿的许多领域提出了富有前瞻性的观点，为科学规划提供了十分重要的信息和决策依据。

在规划期间，科学规划委员会举办过一系列的专题学术报告会。据杜润生回忆：“有几个人报告的是最尖端东西，钱学森、钱伟长、钱三强他们作的，计算机是北京大学半导体专家黄昆作的。那时，按照中央的要求各个学科都作了报告。钱学森报告讲了核聚变，说原子弹爆炸这个问题解决了，现在问题是要搞核能的和平利用，不能用原子弹爆炸的办法。怎么样从海水里提取氢？怎么能够把氢聚变起来，把它点着！一个是制造核弹，一个是搞核能的和平利用都应追赶。把这些前沿的

科学都摆了一下，除本国科学界，还请来一批苏联科学院院士、通讯院士、教授、工程师，介绍当今各门科学技术发展的现状和水平以及项目建议。”[①]后来，有些听过报告的专家颇有感慨地说：钱学森关于核技术的报告“比专门搞核技术的专家还清楚”。特别值得指出的是，在喷气推进、原子能、电子计算机、半导体、无线电电子学和自动化这六项“紧急措施”确定过程中，钱学森“起了举足轻重的作用”。[②]

“优先发展导弹，还是优先发展飞机?”是规划制定过程中争论的一个重要问题。当时，许多人主张重点发展航空，把研制新型飞机作为重要任务，以巩固国家空防。钱学森不赞成优先发展飞机的主张，认为发展导弹更适合科技发展趋势和国情。在陈赓大将的邀请下，1956 年 1 月钱学森在积水潭总政治部文工团排演场给在京的高级军官讲演火箭技术，一连讲了三天，引起大家对导弹的极大兴趣。[③]随后，受周恩来总理的邀请，钱学森在中南海怀仁堂向党和国家领导人做“导弹概况”的讲座。聆听过这场报告的导弹专家黄纬禄回忆说：“我第一次见到钱学森是在 1956 年春天，我到中南海听一个重要报告，报告场上汇集了三军的高级将领和各大科研机构的顶尖技术人员。通过报告会主持人陈赓大将的介绍，我才知道主讲人就是刚从大洋彼岸辗转回国的钱学森。那天，他讲了《导弹概况》，并建议我们国家要尽快着手研制导弹和原子弹。他运用渊博的学识将报告讲得深入浅出，深深触动了在场的高级将领，也使我更坚定了在导弹研制这项国家重要事业中尽己所能的信念，可以说是影响了我的一生。”[④]5 月 27 日，钱学森又在北京航空学院做“航空技术的展望”的专场报告，介绍了与航空技术发展密切相关的流体力学、材料和结构、推进机、新型飞行器等四个方面的内容，以及每个方面需要研究的理论问题。[⑤]这个报告根据国家战略需要和技术科学发展趋势，指出每个学科的任务、发展方向、工作重点乃至步骤，堪称贯彻“以任务带学科”原则的典型范例。

通过这一系列的报告，钱学森认为飞机和导弹都要发展，但无论是从攻击还是防御的角度看，导弹的性能将比飞机优越，因为导弹比飞机拥有更高的马赫数。尤为重要的是，掌握或开拓导弹或火箭技术并不见得比飞机更难，因为导弹所用的材料是一次性的。飞机使用的材料却要求能多次使用，在燃料、发动机以及结构材料上都有特殊的要求，需要雄厚的基础工业作支撑，而发展导弹技术可以暂时不去解决这些需要长期积累才能解决的难题。发展导弹技术唯一要解决的难题是制导问

---

① 刘振坤：《春风秋雨二十年——杜润生访谈录》，《百年潮》1999 年第 6 期。

② 何祚庥：《钱学森教授与发展科学技术的十二年规划》，《院史资料与研究》1992 年第 3 期。

③ 朱兆祥：《追忆钱学森 1955 年回到祖国和参观东北的经过》，载黄宗煊主编：《钱学森——中国爱国知识分子的杰出典范》，清华大学出版社 2011 年版，第 105—119 页。

④ 黄纬禄：《我眼中的钱学森》，《人民日报》2011 年 3 月 10 日。

⑤ 钱学森：《航空技术的展望》，《科学通报》1956 年第 6 期。

题,不过这在短期易于突破。钱学森对导弹、飞机的优劣长短以及我国科技与工业条件真知灼见的分析,被许多科学家接受。[①]随后,钱学森主持完成科学规划的第37项《喷气和火箭技术的建立》,将发展导弹技术这一重大战略决策确定下来了。

通讯技术是国防建设也是经济建设中的关键技术。在通讯技术问题上,争论的焦点是有线通讯和无线通讯之争。为什么会有相当一部分科学家主张重点发展有线电呢?除了技术上难易等问题外,最主要的是因为有线电易于保密,而保密是军事技术上的根本要求。另外,苏联专家也认为不需要发展无线电,希望我国发展有线电,以至于许多高校取消了无线电方面的课程。[②]钱学森和一些无线电电子学专家提出意见说,保密当然是通讯技术的重要要求之一。但是,有线通讯的局限性太大,不能适应现代战争多种多样的要求,其严重的弱点是在未来的现代化战争中极易受到破坏,无线通讯将比有线通讯具有更好的、更广泛的适应性。至于保密问题,可以通过其他办法解决。并且,无线电电子学的重要性还不止于通讯,它是民用技术及现代化国防技术中不可缺少的手段。如工农业、医药卫生等部门都离不开无线电电子学,国防技术如雷达、自动化火炮的设计和指挥等也离不开无线电电子学。钱学森还特别论证了高空大面积彩色电视在现代战争中的作用,指出高空中的彩电系统将极大地有利于军事指挥机关对现代战争的监视和指挥。这一独到精辟的意见,令人耳目一新。[③]

电子计算机是划时代的伟大发明。当时,美国的电子计算机每秒能运算8 000次,比起手摇、电动计算器它是一个飞跃式的进步,但发展前景并不明朗。不过,钱学森举出许多实例说明发展快速电子计算机的重要性。在计算技术和数学组制定计算技术发展规划时,钱学森到规划小组做过报告,"讲的是从他们的工作角度来看发展电子计算机的重要性"。[④]他举出水轮机设计为例子,说过去为了设计水轮机,要进行许多实验模拟,理论只能在极其简化的条件下进行计算。现在由于有了电子计算机,可以用数值方法对包含一切因素的复杂的方程进行精密求解,这样就可以在方程式中把影响水轮机设计的种种因素都放进去,能在最短的时间里以最经济的办法做出最佳的设计。他指出,过去数学家所能研究的方程是线性方程,而实际问题中遇到的方程只好采用线性近似,这就丢失了原来方程式中蕴含的特点。有了计算机以后,可以用数值方法来求解。他还提出发展计算数学的种种理论问题,举出电子计算机可以下象棋的实例,表明可以部分代替人的思维。另外,他还

---

①③ 何祚庥:《钱学森教授与发展科学技术的十二年规划》,《院史资料与研究》1992年第3期。

② 姜玉平对陈俊亮院士的访谈,北京邮电大学教学三楼陈俊亮办公室,2010年7月26日。

④ 夏培肃:《回忆我国第一个电子计算机科研小组》,载《中国科学院计算技术研究所三十年(1956—1986)》,1986年,第18页。

介绍了电子计算机的记忆功能、逻辑功能，甚至学习功能等，证明电子计算机是极具发展前景的领域。于是，这一重大项目就被确定下来了。①

关于自动化科学问题，钱学森也做了很好的科学论证。他向大家解释了生产过程的机械化和生产过程的自动化在原则上的差别。他说，机械化是只能按照一定生产程序而操作的机器，而自动化却是在电子计算机控制下适应各种不同情况而自动操作的机器，未来工业的发展必然走向自动化操作。这不仅可以节省大量劳动力，而且为保证高质量的产品所必须。尤为重要的是，在未来的战争中必须有自动化的攻防装备，否则就不能适应未来高灵敏的快速反应的现代战争。他特别提出农业耕作的自动化问题，认为中国农业发展不能仅限于机械化，而是必须走向自动化。中国农业发展的特点是精耕细作，必须发展自动化的农业机械，在农业机械设计中引入控制机。负责科学规划工作的办公室主任杜润生十分欣赏这一观点，认为它真正符合毛泽东主席在中国发展农业机械化的设想。②

钱学森自 1946 年开始研究核能应用问题。规划期间，他“预见到许多重要领域的发展”，指出快中子堆的重要性，因为这能增殖燃料。在规划研讨会上，他做过一次如何实现受控热核反应的设想的报告，提倡研究受控热核反应。他提出，只要将墙壁做成多孔材料，那么通过液体在多孔介质中渗漏，将能解决任何大量热能产生后的散热问题。还提出研究原子能在飞机和潜艇上应用的重要性，认为这可以极大地增加续航能力。

钱学森十分重视半导体的研究。因为利用半导体能制造出体积小、寿命长并且稳定可靠的二极管和三极管，对发展无线电电子学、自动化技术至关重要。

在这些重大项目论证过程中，钱学森展现出渊博的学识以及对科学技术进展及其趋势惊人的预判能力。其中，他着重强调的许多研究课题具有高度的科学思想水准。这些思想结晶集中体现在“论技术科学”一文，尤其是文中的“技术科学新的发展领域”部分基本上囊括科学规划中的六项“紧急措施”，既阐明它们与国家建设的关系，又指出需要研究的课题，与科学规划的总方针与原则十分契合。

此外，钱学森十分重视基础理论问题的研究，曾指出统计物理与量子力学在工程技术上具有重要作用。他指出统计物理可应用计算流体力学方程式中所需用到的状态方程，又指出玻尔茨曼方程对飞行物在稀薄气体中飞行轨道问题的研究有重要作用。当知道综合组秘书何祚庥对理论物理有浓厚兴趣时，对他说：“你为什么不去研究研究这些问题”？③另外，他还对一些基础科学的定位问题提出过重要意见。地理学家施雅风回忆说：“在起草基础科学规划上，对地理学是否属于基础

①②③ 何祚庥：《钱学森教授与发展科学技术的十二年规划》，《院史资料与研究》1992 年第 3 期。

学科看法不一。我参加了起草地理学规划说明书工作，说明书印出时有个附言，讲到了地理学科性质，科学家有不同意见。主要是周培源提出了否定意见，竺老明显肯定。""后来经过钱学森的努力，把地理学的学科地位抬高了。"[①]这里虽未道明钱学森是如何提高地理学的学科地位的，但只要阅读《规划纲要》，就不难发现钱学森是赞同"地理学属于基础科学"这一学科定位的。

第一阶段任务完成后，科学规划进入第二阶段。以科学院数学物理学化学部、生物学地学部、技术科学部为单位，召集600多位科学家集中到北京西郊宾馆，进行综合、汇总和审查工作，分为综合组和各学科（专题）组进行。由于在第一阶段科学家分别从自己的专业出发提出了数量浩繁的研究课题，然而国家不可能全部予以支持。于是，从600多位科学家提出的浩如烟海、头绪繁多的建议中整理出一份纲要来综合任务，就交给了以钱学森为组长的综合组，负责评价、裁决、选择、推举，确定并综合各个方面的建议，以供中央最终决策。综合组对各个项目进行了反复讨论、研究。

规划工作从1月23日开始，原定1月底结束，后来延至2月底，但到3月中旬才提出重要项目。3月16日，科学院院务常务第九次会议通过学术秘书处所拟定的53条重要项目。随后，从3月20日起，讨论50条项目中有否意见，应否增减，至23日结束。此后，又分组讨论各个题目，写出基本情况，要求联系学科，但主要考虑重大项目。[②]最终，综合组按照"以任务为经，学科为纬"的原则梳理任务，从国防建设和经济建设需要考虑，兼顾基础研究的需要，确定了57项任务。每项任务包含若干课题，指定主要负责单位，还起草了比较详细的说明书。每项任务说明书阐明研究任务和课题的要求与措施，包括建立科研机构、培育人才和国际合作等。

经过半年多的辛勤劳动，8月21日完成了《1956—1967年科学技术发展远景规划纲要（草案）》和四个附件的编制。8月下旬，陈毅根据周恩来的指示，主持召开科学规划委员会扩大会议，对《规划纲要》（草案）进行总结性讨论。会议讨论了《规划纲要》和关系到当前措施的附件——《1956年紧急措施和1957年研究计划要点》，还讨论了《纲要》中一些存有争论的问题。10月28日，陈毅又主持召开以科学规划委员会主任、副主任、科学规划十人小组常务组员，以及与科学研究有重要关系的几个部门的主要负责人参加的会议，讨论陈毅、李富春、聂荣臻起草的《关于科学规划工作向中央的报告》。会后，陈毅、李富春、聂荣臻三位副总理联名向中央提出《关于科学规划工作向中央的报告》。11月15日，周恩来修改了该报告，并

---

① 施雅风：《施雅风口述自传》，湖南教育出版社2009年版，第142页。

② 竺可桢：《竺可桢全集》（14卷），上海科技教育出版社2008年版，第302—307页。

批示:"小平同志,现送上富春、陈毅、荣臻三位同志关于科学规划工作的报告,我意可以原则批准,以便按照他们提出的程序进行讨论和审议,最后再提中央批准"。[①] 12月22日,中央同意科学规划委员会党组《关于征求〈一九五六——一九六七年科学技术发展远景规划纲要(修正草案)〉意见的报告》。随后,科学规划委员会又多次开会讨论规划中争论比较大的问题,并予以修改完善。12月下旬,完成了《一九五六——一九六七年科学技术发展远景规划纲要(修正草案)》,中央随即转发各地、各部门征求意见。至此,科学规划制定工作全部完成。原拟三个月完成,但实际上用了八个月才告结束。

科学规划虽是在边学边研究、边摸索边研究的状态下完成的,但所采用的"以任务带学科"原则和方法是正确的、有力的,并且切实可行。最后,制定出《1956—1967年科学技术发展远景规划纲要(修正草案)》和四个附件,即《国家重要科学任务说明书和中心问题说明书》、《基础科学学科规划说明书》、《任务和中心问题名称一览》、《1956年紧急措施和1957年研究计划要点》,全文总共达600万字。这份国家规模的发展科学技术的长期规划,"对我国科学事业的发展画出了轮廓,并作出了初步的安排"。它从自然条件及资源、矿冶、燃料和动力、机械制造、化学工业、土木建筑、运输和通信、新技术、国防、农业林业牧业、医药卫生、仪器计量和国家标准、若干基本理论问题与科学情报等13个方面,凝练出57项重点科学技术任务,616个中心课题,几乎将二战以来的新科学和尖端技术全部涵括在内。其中,12项为带有关键意义的重大任务:(1)原子能的和平利用;(2)无线电电子学;(3)喷气技术;(4)生产过程自动化和精密仪器;(5)石油及其他特别缺乏资源的勘探,矿物原料基地的探寻和确定;(6)结合我国资源情况建立合金系统并寻求新的冶金过程;(7)综合利用燃料,发展有机合成;(8)新型动力机械和大型机械;(9)黄河、长江综合开发的重大科学技术问题;(10)农业的化学化、机械化、电气化的重大科学问题;(11)危害我国人民健康最大的几种主要疾病的防治和消灭;(12)自然科学中若干重要的基本原理。在57项重大任务下面,又总共列出616个中心问题,它们分为六大类:(1)国家工业化、国防现代化建设中迫切需要解决的关键性问题;(2)调查研究自然条件和资源情况,保证重要区域的综合开发和工农业生产的建设需要;(3)配合国家重工业建设的若干项目;(4)为提高中国农业收获量和发展林业所进行的重大科研项目;(5)为人民保健事业进行的重大科研项目;(6)基本理论问题的研究。[②]

---

① 路甬祥:《向科学进军——一段不能忘怀的历史》,科学出版社2009年版,第27页。

② 钱临照、谷羽:《中国科学院》(上),当代中国出版社1994年版,第74—75页。

这份科学规划兼顾为生产、为国防、为发展科学本身服务，涵括与基础研究、经济和国防建设、人民生活需求相适应的各类课题。其中，一大显著特征就是，列入规划的主要是应用科学性质或具有应用背景的课题，一位曾在中国指导科研组织工作的苏联化学家评论说："在中国科学规划之中提及的几乎所有的问题都属于应用科学，尽管其理论部分不时被提到"。①一方面，这是由于规划忠实地贯彻了"科学面向生产"的原则，另一方面无疑是受到钱学森等主张应用导向的科学家的影响。钱学森对技术科学的介绍和宣传以及负责综合归纳各个学科任务的角色，必然会对规划内容尤其是六项"紧急措施"的确定产生直接的影响。以应用为导向的指导原则，会直接影响科技发展方向的选择，必然要求科学界围绕科学规划确定的任务课题进行研究，搞清与任务有关的技术与理论问题，研究结果自然将是具有明确应用目标的应用科学成果。

2.2　四项"紧急措施"与技术科学

为了体现"迎头赶上"的方针并起到带头作用，《规划纲要》完成后，张劲夫在参加规划的科学家中组织了一个专门小组，成员有钱学森、钱伟长、黄昆、罗沛霖、王大珩、马大猷等。专门小组经过综合归纳，认为最为重要、最为紧急的是电子学、自动化、半导体、计算机、导弹、原子弹这六项，原子弹、导弹属于保密的国防尖端技术，国家已有特别安排。其他四项为我国空白，而且又是重中之重、急中之急，须要放在其他重点任务之前抓。为此，他们向国家特别提出四项"紧急措施"，作为优先发展的任务。这样，就形成了六项"紧急措施"，即规划的第 36 项"原子能的和平利用"，第 37 项"喷气和火箭技术的建立"，第 38 项"无线电电子学的研究和新的应用"，第 39 项"生产过程的机械化和自动化"，第 40 项"半导体技术的建立"，第 41 项"计算技术的建立"。前两项主归军事科研部门，属严格保密，其余四项对外公开，称为四项"紧急措施"，由科学院负责。

在科学规划开始前和进行过程中，"原子能的和平利用"与"喷气和火箭技术的建立"这两项已作为国家重点任务，摆在突出的位置。1955 年 1 月 15 日，毛泽东主席主持召开中共中央书记处扩大会议，讨论发展原子能事业问题。李四光、钱三强在会上作了汇报，并展示了用仪器探测铀矿石的操作表演。会议认为，我国铀资源经过进一步的勘探，一定会发现更多，核科学研究也有了一定的基础，发展原子能事业的基本条件已经具备。毛主席指出：这件事总是要抓的。现在到时候了，该

---

① ［苏］米哈依尔·阿·克罗契科：《一位苏联科学家在中国》，A.麦克安德鲁英译，赵宝骅中译，湖南教育出版社 2010 年版，第 5 页。

抓了。只要排上日程，认真抓一下，一定可以搞起来。遵照毛主席讲话精神，中央书记处作出了建立和发展原子能事业的战略决策，揭开了中国核工业建设的帷幕。随后，国家成立原子能委员会，以领导和组织原子能事业的创建和发展。1956年2月17日，钱学森遵照周恩来总理的嘱托，向中央呈送《关于建立我国国防航空工业意见书》。4月，国家成立航空工业委员会，主抓导弹和火箭研制。

根据科学规划的要求，需要写出各项任务的说明书。四项"紧急措施"任务说明书的分工分别是：华罗庚主笔"计算技术"，罗沛霖主笔"电子学"，黄昆主笔"半导体"，钱伟长主笔"自动化"。"国防方面另案办理，由钱学森主持。"[①]不久后，钱伟长被任命为科学院自动化和远距离操纵研究所筹委会主任委员，并负责筹建全国的自动化学会。钱三强虽是科学规划委员会成员之一，但基本上没有在国内参加规划工作。在这之前，他与刘杰等合作起草了《关于我国制定原子能事业计划的一些意见》。随后于1955年10月，与彭桓武等率领近40人的队伍奔赴苏联，以"热工实习团"的名义学习、考察反应堆和加速器等相关技术，直到1956年7月才回国，其间仅有短暂时间回过国内。这样，科学规划有关原子能项目的任务说明书，由以王淦昌为组长的规划小组起草，王淦昌把它带到苏联，由钱三强主持讨论修订。

四项"紧急措施"方案报到周恩来总理那里，周恩来认为它是符合"重点发展，迎头赶上"战略方针的重大举措。据张劲夫回忆，周总理立刻批准，并说："对！先抓这四项。"[②]其间，还生出一枝花絮。由于向外公布的"紧急措施"只有四项，没有核技术和喷气推进这两项，造成因在苏联出差没能直接参与规划、而"心热口直，刚正不阿"、性格爽朗的钱三强产生了"误解"。钱三强回国后，一见到张劲夫，就向他提出意见：十二年科学规划为什么只提了四项"紧急措施"，而未对原子能科研也提出紧急措施？张劲夫向他解释说："原子能科研工作，毛主席亲自关怀，曾约你和李四光副院长谈过，早已是国务院要抓的专项大事，保密性又强，这次就未有再提了"。钱三强立即表示理解。[③]

六项"紧急措施"所涉及的内容基本上是20世纪上半叶尤其是在二战期间发展起来的，属于将基础科学发现应用于工程技术而产生的尖端技术。在《规划纲要》第八部分，对这些新技术的内容作了简要说明，指出"新技术是现代科学技术的先锋"，它们"在我国还都是空白点，没有基础的"，"我们必须学习和掌握这些新技术"，"加快地建立作为这些新技术的基础的理论学科"，包括原子核物理学、基

---

① 竺可桢：《竺可桢全集》(14卷)，上海科技教育出版社2008年版，第341页。

② 路甬祥：《向科学进军——一段不能忘怀的历史》，科学出版社2009年版，第28页。

③ 张劲夫：《张劲夫文选》(下)，中国财政经济出版社2000年版，第862—863页。

本粒子物理、力学、控制论、统计数学、计算数学、电子学、无线电物理、半导体物理等。[①]这些新技术涉及的科学领域十分广泛，具有牵一发而动全身的效果。

在钱学森主持下，王弼、沈元、任新民等合作完成规划的第37项《喷气和火箭技术的建立》，为我国喷气技术和导弹技术发展勾勒出了蓝图。《规划纲要》写道："喷气飞机和火箭是现代飞行器械技术中的最高成就。这种技术的掌握和发展对于增强我国国防有很大的意义。喷气飞机的速度可以达到超过声音传播的速度，飞行高度可以高达两万公尺，可发展为高速交通工具。火箭的速度更高，可以达到更远的高空，以至可以作为星际交通的工具。由于火箭是利用复杂的自动控制系统来控制飞行的路线的，因此，在国防上可以达到超越远距离瞄准的要求，它同时也是近代空防的利器。这两种超高速度的飞行器械在现代科学技术发展中是突出的高峰之一，掌握它、运用它和继续发展它必须要付出很大努力。"建立和发展这项新技术的工作内容包括："掌握喷气飞机和火箭的设计和制造方法，同时研究其有关的理论，并建立必需的研究设备，从事高速气体动力学、机身结构、各种喷气动力、控制方法以及飞行技术的研究，使在最短期间能独立设计民用的喷气飞机和国防所需的喷气飞机和火箭。"[②]在这项新技术任务的说明书中，他们详细论述了发展喷气和火箭技术的意义、内容、目标、途径、进度、组织措施等。说明书指出："喷气和火箭技术是现代国防事业的两个主要方面：一方面是喷气式的飞机，一方面是导弹。没有这两种技术，就没有现代的航空，就没有现代的国防。建立了喷气和导弹的技术，民用航空方面的科学技术问题也就不难解决"；"本任务的预期结果是建立并发展喷气和火箭技术，以便在12年内使我国喷气和火箭技术走上独立发展的道路并接近世界先进的科学技术水平以满足国防的需要"。解决本任务的途径是："必须尽先建立包括研究、设计和试制的综合性的导弹研究机构，并逐步建立飞机方面的各个研究机构"。解决本任务的大体进度为："1963—1967年在本国研究工作的指导下，独立进行设计和制造国防上需要的、达到当时先进性能指标的导弹"。组织措施是："在国防部的航空委员会下成立导弹研究院，该院自1956年起开始建设，1960年建成。"[③]由上文可知，通过建立喷气推进技术，可以带动气体动力学、工程控制论等技术科学的创建和发展。

关于无线电电子学的发展目标，第38项任务说明书写道："在12年内，应掌握

---

① 国务院科学规划委员会：《1956—1967年科学技术发展远景规划纲要(修正草案)》，1956年，第29页。

② 国务院科学规划委员会：《1956—1967年科学技术发展远景规划纲要(修正草案)》，1956年，第29—30页。

③ 转引自王寿云等：《钱学森》，载《科学家传记大辞典》编辑组：《中国现代科学家传记》(第一集)，科学出版社1991年版，第767—802页。

无线电电子学主要方面的先进知识，使能自行设计各种符合国际水平的现代化无线电元件、电子管和仪器，并解决材料和工艺上的主要问题。此外还要通过自己的研究工作为工业生产开辟新道路，为应用开辟新领域”。①关于自动化技术，《规划纲要》比较笼统地写道：“以总结先进国家在这方面的成就为开始，然后发展调节理论和它的工程计算方法，研究生产过程综合自动化的理论，建立自动化拖动和远动学的理论和方法，以及自动、远动技术工具的科学基础。”②在第39项《生产过程的机械化和自动化》任务说明书中，要求以“工业生产过程自动化的提高和改进的实践，与基本理论的提高和发展应有步骤地相互提携前进”为方针，“12年内，预期将在非线性的、复合的和随动的自动调节系统方面，建立起更完整的理论及其工程计算方法；扩展控制论和讯息论在自动学和远动学中的应用；系统地分析技术经济效果，以解决生产过程综合自动化的次序和规模；建立更经济、可靠、准确和动作迅速的自动电力拖动系统；以及在新技术的基础上，使自动检查、计量、控制和调节的方法及其技术工具得到更大的发展”。另一方面，“将大力推动机械化自动化在国民经济各部门中的实践，以急剧发展生产力，迅速向社会主义社会迈进。”③

不难看出，这些新技术都与技术科学息息相关，它们的发展必然会带动技术科学的建设和发展。在《规划纲要》第三节“任务的重点部分”，特别就发展原子能、无线电、喷气技术和自动化等新技术对技术科学发展的促进作用作了进一步的说明。其中指出，这些新技术“是当前世界各国在科学技术方面展开竞赛的注意焦点。对于这些问题进行研究，会促进生产技术的根本革新，同时也会带动很多方面的研究工作的发展。由于原子能事业的发展，就会对稀有金属如铀、钍、锆、铍等的冶炼和新型动力机械的制造等方面提出一系列的新的研究任务；由于放射性元素的广泛应用，也将为许多科学部门和生产技术开辟新的局面。无线电电子学新技术对于国家的广播和通讯事业，无线电定位、反定位，电力系统装备的建立，实验室和生产过程中的测量、控制，特别是远距离操纵方面，以及整个仪表工业的发展，都有极其重大的推动作用，并且会把新的技术原理引入这些部门。喷气技术（包括喷气飞机和火箭）的建立会要求把我国高空气体动力学、燃烧学、热力学、传热学、材料强度学方面的研究大大加强，会大大提高我国在遥远控制和复杂自动控制系统方面的水平。生产过程自动化是关系整个工业技术的改造的一个共同性问题，是近代生

---

① 《国家重要科学技术任务说明书第38项（无线电电子学的研究和新的应用）》，上海市档案馆，案卷号：A52-2-781。

② 国务院科学规划委员会：《1956—1967年科学技术发展远景规划纲要（修正草案）》，1956年，第30页。

③ 《国家重要科学技术任务说明书第39项（生产过程的机械化和自动化）》，上海市档案馆，案卷号：A52-2-782。

产技术发展的一项综合结果。但是现在有关自动化，特别是综合自动化的一系列理论基础尚未成熟，有关不同生产部门的遥远控制与调节的理论和方法等均极需要研究”。[①]从表面上看，六项“紧急措施”是六大新技术产品，实际上它们都是科学与技术结合的产物。《规划纲要》提出要重点发展这些新技术，有助于推进工程技术与科学理论结合，建立和发展相应的技术科学。在一定程度上说，六项“紧急措施”也是推动中国技术科学建立和发展的重大举措。

第三节　力学——技术科学思想的集中体现

科学规划采取“以任务带学科”的原则，列入规划的大多是与工农业、国防建设关联密切的项目，许多基础科学项目无法为任务带动，造成一些科学家的不满。1956 年 3 月 7 日晚，科学规划十人小组召集参加规划会议的各组人员提意见，物理学组就对“不提基础科学发展认为不满”，化学家汪猷“提出理论应该走在前面”等建议。[②]另据张劲夫回忆：“有一部分老科学家，特别是搞基础研究的不赞成，他们习惯于按学科搞研究。然而，从整个国家来讲，当时向科学进军，好多建设工程项目都开工了！科学要为经济服务，要解决这些建设中的问题。经过我们这样的说服，绝大多数人都赞成了。也有一部分老科学家还有意见，担心这样可能造成不重视基础研究的后果。”为了解决这些争论，化解科学家们的担忧，根据周恩来的指示，规划增加一项任务，即“现代自然科学中若干基本科学理论问题的研究”，作为规划第 56 项重大任务，并列为今后 12 年内的 12 项科学研究重点问题之一。另外，还制定了基础科学学科规划，作为《规划纲要》的附件。对于基础科学规划的制定，张劲夫回忆说：“我们当时就说用两种方法来搞规划，主要方法是‘以任务带学科’，另外再专门搞一个学科规划来补充。先用‘任务带学科’的方法把这个规划搞好，再留一部分同志专门搞学科规划”。[③]于是，科学院根据这一要求专门制定了详尽的学科规划，包括数学、力学、天文学、物理学、化学、生物学、地质学及地理学等 8 个基础学科，由周培源、贝时璋主持制定，参加任务说明书起草的有贝时璋、周培源、苏步青、段学复、余瑞璜、唐敖庆、傅鹰、王应睐、刘承钊、殷宏章、冯德培等。

力学是技术科学的龙头学科，也是最能体现技术科学思想的学科。科学规划

---

① 国务院科学规划委员会：《1956—1967 年科学技术发展远景规划纲要（修正草案）》，1956 年，第 41—42 页。

② 竺可桢：《竺可桢全集》（14 卷），上海科技教育出版社 2008 年版，第 301 页。

③ 刘振坤：《在科学院辉煌的背后——张劲夫访谈录》，《百年潮》1999 年第 6 期。

直接反映力学内容的主要有两处:一是第56项任务从力学角度提出物理力学、运用学的建立这两个中心问题;二是在基础科学学科规划部分专门列出力学学科规划。钱学森、钱伟长、周培源、沈元等力学家参加了力学学科规划的调研、制定、组织和实施。1956年4月,钱学森与苏联顾问代表团团长米哈伊洛夫单独会晤,就制定力学学科规划问题交换意见。6月中旬至7月初,钱学森又应苏联科学院的邀请前往莫斯科进行学术访问。在这些交谈和交流过程中,北京大学数学力学系青年教师吴鸿庆给钱学森担任俄文翻译。有理由相信,力学学科规划中体现了当时西方科学界尤其是苏联科学界关于力学学科的一些观点。

力学学科规划包括"力学学科规划总论"与"力学学科规划说明书"两大部分。

"总论"包括力学的内容和意义、国内外发展情况综述、关于力学发展的若干意见与具体措施。参加讨论者有钱学森、钱伟长、周培源、沈元、曾毅,"总论"起草人为林鸿荪、郑哲敏、朱兆祥。关于力学的内容和意义,"总论"写道:①

> 力学是研究物质的宏观机械运动以及与之有关的各种现象的科学。在自然科学中发展得最早的是关于最简单的位置变动的理论,就是天体的和地球重力作用下质点的力学。如从牛顿总结前人经验而提出的力学基本定律算起,力学也至少有了近三百年的历史。最近半个世纪以来,由于生产实践对于力学有更广泛的需要,配合着其他科学部门的发展,在力学中出现了许多新的领域,所以力学又是一门异常年青的科学。
>
> 力学是一切工程技术的必要基础之一,它的发展对于各种工程技术的进一步提高有着重大的作用。我们举一些例子来看工程技术对于力学提出怎样的问题:飞弹火箭的发展开辟了力学工作的广泛园地,它们的结构、空气动力学特性、推进机的设计和运用和它们的运动轨道,都是力学家工作的对象;我们巨大规模的水利建设,对于水力学、结构力学、土力学等提出了一系列新的问题;机械制造工业需要解决金属压力加工和切削过程的塑性理论分析;由于高温蒸汽和燃气涡轮动力机的设计,固体力学家就必须注意高温下金属材料的力学性能,流体力学就必须研究叶片形状和它的空气动特性之间的关系;基本建设方面提出了设计抗震结构问题,这项工作要求把弹性动力学更推进一步;在化工和冶金过程中同时考虑到流动、传热、传质的因素,来了解其过程的机理和相似律,有可能引起生产上根本性的改革的建议。以上所举的例子都已经在这次规划的某些重要任务中提出来。
>
> 在我国社会主义建设里产生了一些带有区域特性的力学问题,例如含沙

① 《国家科学规划委员会关于1956—1967年基础科学学科规划》,上海市档案馆,案卷号:A52-2-742。

量达到40%的水流的泥沙沉淀问题，黄土的土力学等方面都提出特殊的任务，要求我国的力学工作者努力去解决。

力学的应用范围是异常广泛的，而且不断地开辟着新的领域。譬如，高温气体的动力学和高空稀薄气体的动力学就是研究超高速飞行和人造卫星所必不可少的；在宇宙演化的研究方面，人们正注意气体动力学和电磁流体力学在星云问题上的应用；另一方面，力学还和地学发生密切的联系，如地震、动力气象、地质力学等都牵涉到力学的应用。

把近代物理学、化学和力学结合起来就产生力学的新的生长点。物理力学就是研究如何从分子结构来预见工程材料和工程所用介质的性质，另外还可提出电磁流体力学（结合电磁学和流体力学）、燃烧学（结合化学动力学和流体力学），来证实各门科学的结合对于它们本身发展所起的巨大推动作用。

力学是介乎基本科学和工程技术之间的一门学问。力学工作者既要了解工程技术的观点和其中的实际问题，也要求除了力学本门知识外还要了解一些基本科学的知识和严密的论证方法。这也就是说，力学工作者必须把理论和实践紧密结合起来，这就要求力学工作者掌握辩证唯物主义的观点和方法。

在力学中使用的实验设备是多种多样的。风洞、水洞等是研究各项重要流体力学问题不可缺少的，材料性能的测定和模型实验的进行需要各种的机械的及电子学的仪器设备，有的需要大量的动力消耗，有的需要高度的精密性。力学中的实验工作的重要性，应引起一切力学工作者的注意。力学中需要利用到高深复杂的数学工具，由于力学从线性范围转到非线性的范围，以及随机过程的分析，对于数学也提出了新的要求，高速电子计算机对力学有很大的帮助。

如果我们将力学学科规划对力学的性质、研究内容和意义、研究方法与手段的概括性介绍，与“一门古老而又年青的学科”①一文内容作些对比，不难发现两者如出一辙，因此可以说力学学科规划对力学的性质、内容、意义的认识充分体现了钱学森、钱伟长等技术科学家关于力学的观点。在这里，力学虽被列入基础科学，认为“力学是研究物质的宏观机械运动以及与之有关的各种现象的科学”，但又强调“力学是一切工程技术的必要基础之一，它的发展对于各种工程技术的进一步提高有着重大的作用”。由此，界定“力学是介乎基本科学和工程技术之间的一门学问”，即力学属于技术科学。由此学科定位出发，力学学科规划主要从技术科学角度出发提出力学的发展方向，强调的也主要是应用力学方面。

在《规划纲要》第四节“基础科学的发展方向”中，也简明扼要地叙述了力学的

① 钱学森：《一门古老而又年青的学科》，《人民日报》1956年6月11日。

学科性质、研究内容和发展方向:①

> 力学是一切工程技术的基础。近代的航空、火箭技术的发展中,力学研究常常是它们的先导。固体强度的研究是机器制造业和土木建筑工程中最关键的问题。巨大规模的水利建设要求流体力学、结构力学、土力学解决大量的问题。最近力学逐渐渗入到化学工业、冶金工业、石油工业、动力工业中去解决一些根本性质的理论问题,将对这些工业中生产效率的提高起重要的作用。
>
> 力学的各个学科应该着重发展的方向,在流体力学方面主要是结合高速高空飞行的发展研究高速飞机空气动力学问题、亚音速飞行和超音速飞行中的边界层理论,并进一步结合火箭的研究发展高超音速空气动力学和稀薄气体力学的研究。结合航海事业开展关于船舶造波理论和推进理论以及水翼理论的研究。发展旋转机械中流体力学的研究,以提高涡轮机和压气机的效率。此外应该着重发展和水利建设、石油工业等有密切关系的含颗粒流体力学、渗流理论和多相流体动力学。继续发展流体力学中基本理论问题之一——湍流理论。
>
> 应该重视流体力学中两个新的生长点的发展,即(一)和化学反应、传热、传质相结合的化学流体力学,例如关于燃烧理论、爆震理论、化工反应器和工业炉中的流体力学的研究,它对于化工、冶金和动力工业极为重要。(二)和电磁学相结合的电磁流体力学,它对高速航空、核子工程和天体演化论的发展都有重要意义。
>
> 固体力学方面应该发展固体的强度理论,特别是在高温状态下和高速变形状态下金属的塑性理论。开展关于金属的破裂理论和疲劳规律的研究。结合机器制造工业开展关于金属压力加工和金属切削的塑性变形理论的研究。应该发展弹性动力学和流体弹性力学的研究,解决抗御地震和爆炸的结构问题、飞机和水工结构的颤动问题以及高速机械的振动问题。发展非线性弹性力学和非均匀体弹性力学并解决机器制造和建筑工程中大量的强度分析问题。此外还应开展岩石力学和土力学的工作,并建立流变学的基础。
>
> 应该重视建立起把力学和近代物理学、化学结合起来的生长点——物理力学,研究从物质的微观结构预测气体、液体和工程材料的性质等重大问题。
>
> 作为力学基础的一般力学,应该结合新技术的进展加以发展。目前应该结合控制机械系统的要求着重发展运动的稳定性理论、非线性振动理论以及和控制仪表相关联的刚体动力学(如陀螺仪理论)、机械运动学和动力学等,此外也应发展和火箭及星际航行相关的外弹道学和变质量物体力学。

① 国务院科学规划委员会:《1956—1967年科学技术发展远景规划纲要(修正草案)》,1956年,第44—45页。

这里提出了力学的主要发展方向，即流体力学、化学流体力学、固体力学、物理力学、一般力学。可以看出，《规划纲要》与基础科学规划中的“力学学科规划总论”对力学学科发展的要求，都非常侧重力学的应用，也就是应用力学方面，这表明关于力学的规划较好地贯彻了“以任务带学科”的原则，实际上形成了以学科促任务的局面。

为了完成科学规划在力学方面提出的重要任务，满足国家建设需要，尤其是在国防研究上解决一些迫切需要解决的重要力学问题，希望 12 年内在力学领域接近或赶上世界先进水平，力学规划小组提出了三大发展目标：(1)协助 57 项重要任务尤其是国防科研任务的完成；(2)建立并巩固三个工程力学研究班和两个力学研究所，在全国主要的综合性大学开设力学专业，培养足够数量的优秀的受过力学专业训练的大学生和副博士水平以上的干部；(3)建立力学中若干新学科(流体力学和固体力学的一些部门，化学流体力学和物理力学)，并帮助自动控制和运筹学的力量在我国发展到能够独立自主的地步。[①]也就是说，以解决国防科研中的力学问题为龙头，建立力学教学和研究机构，加强人才训练和培养，培育和建设新兴学科。

如何实现上述发展目标呢？鉴于 1952 年以前我国工科院校中没有力学专业，规划提出从加强研究及教学人才培养、建设研究网络、开展国际学术交流与合作这三方面入手。[②]

在人才培养方面，规划建议采取以下紧急措施：(1)设立工程力学研究班，利用科学院力学所的力量在国内水平较高的多科性工业大学举办大规模的研究班，吸取工业院校各种专业学完四年级的优秀学生参加，经过两年学习以后，毕业时应掌握工程技术某方面的基础和力学主要部门的知识。一方面可以胜任高等工业院校教师的工作，另一方面，其中优秀的毕业生可以进一步直接培养为副博士(约经一年半到两年)，有能力在研究部门独立进行或领导研究工作，也有能力在大学中担任主要的讲课工作，并支援新设立的力学研究班和力学专业。应陆续在第二个五年计划结束之前设立三个工程力学研究班：1956 年在清华大学开办，1960 年在交通大学开办，1961 年在大连工学院开办，每班招收 120 人。(2)在全国主要综合性大学设立力学专业。(3)在北京航空学院设立空气动力学专业。

在研究网络建设方面，“鉴于目前全国力学研究力量的薄弱和开展研究及培养干部任务的急迫，有必要将研究中心的建立和力学专业的建立结合进行，也就是说，在某一处的专门化建立起来以后的两三年内，应该配备足够数量的受过力学训练的副博士及大学生和足够的实验室图书设备，开始形成一个本学科的科学研究据点，再过两三年后就可以形成科学研究中心。”而且，规划就力学五大分支学科计

①② 《国家科学规划委员会关于 1956—1967 年基础科学学科规划》，上海市档案馆，案卷号：A52-2-742。

划设立的研究中心或据点提出了初步建议，如一般力学以北京大学、东北人民大学、复旦大学、南开大学、武汉大学为中心；固体力学以力学所、清华大学、东北人民大学、交通大学、科学院西北力学所为中心；流体力学以北大、北航、力学所、大连工学院、兰州大学为中心；化学流体力学、物理力学以力学所为中心。并强调说，这些研究中心"在地区分布上还是不够达到在全国各地区都有研究中心这样的要求，但在开始时期的确是不宜过于分散的。"规划还建议高等工业院校逐步加强力学教研组的力量，结合本单位的专业方向开展研究工作。这可以照顾到各地区工业的发展，在研究题目上应尽量与57项任务中所提到的工作结合。科学院和高教部可以组织一个经常性的力学工作委员会，组织人员和设备，为解决这些问题而努力。另外，今后应每年或每两年举行一次力学学术报告会，由科学院主持。会议应起到如下作用：(1)检阅全国力学方面的研究成果，(2)介绍力学中新的发展方向，(3)组织全国力学研究力量，交流经验(特别是检查干部培养计划的执行情况)。

在国际学术交流与合作方面，规划提出向苏联和其他兄弟国家派遣一定数量的留学生学习，并聘请一定数量的苏联专家，到我国来讲学、培养研究生以及帮助建立实验室。

《力学学科规划说明书》分别对力学五大分支学科的研究内容、研究意义、国际国内现状予以详细说明和总结，并结合各个分支学科总的发展规模提出了今后12年内的重要发展方向。流体力学规划参加者有钱学森、钱伟长、周培源、沈元、曾毅、吴仲华、陆士嘉、林同骥、潘良儒、周光炯、林鸿荪，规划说明书由郑哲敏起草。固体力学规划参加讨论者有钱学森、钱伟长、周培源、沈元、曾毅、王俊奎、李敏华、杜庆华、王仁、郑哲敏、程世祜、沈志荣、胡海昌，规划说明书由朱兆祥起草。化学流体力学规划参加讨论者有钱学森、钱伟长、周培源、沈元、曾毅、陆士嘉、吴仲华、林同骥、潘良儒、周光炯，规划说明书由林鸿荪起草。物理力学规划参加讨论者有钱学森、周培源、沈元、曾毅，规划说明书由钱学森起草。一般力学规划参加讨论者有钱学森、钱伟长、周培源、沈元、曾毅、李敏华、杜庆华、王仁、郑哲敏、朱兆祥、许国志，规划说明书由林鸿荪起草。在规划说明书中，列举出来的都是比较新的发展方向。当然，"另外一些没有提到的，其中有所谓经典性的方向，也应该给以适当的注意。因为有许多历史悠久的科学，经过新概念新方法的引入结合，可能又会有很大的发展，而且对于国民经济或研究的进展起很大作用。"①流体力学、固体力学、一般力学是力学领域比较成熟的学科，只不过在各个分支上出现了许多新内容。化学流体力学、物理力学则是力学领域的新兴学科，也是钱学森最为关心的发展方向。

---

① 《国家科学规划委员会关于1956—1967年基础科学学科规划》，上海市档案馆，案卷号：A52-2-742。

3.1　化学流体力学

何谓化学流体力学？它的研究内容、实际用途和意义何在？规划说明书写道：①

> 化学流体力学是力学的一个新的部门，研究同时有化学变化、物态变化、传热、传质的多相介质运动的规律。它是研究许多化工冶金过程、热工过程的科学基础的一部分。
>
> 在化学工业和石油工业中各种反应器（可能是固定床、移动床，也可能是流体化床）的设计原理是亟待解决的问题；在钢铁工业中必须了解高炉、平炉、转炉的内部过程；在有色金属工业中已开始注意到利用沸腾层焙烧的方法。从这方面来看，就有必要研究这些过程中流动、传热、传质的基本机理和相似法则，充分地将力学（结合着物理学和化学）的方法引入到这些问题探讨中去，并在适当的条件下对现有工艺过程加以改善或根本改革。
>
> 燃料的燃烧是各种工业的重要动力来源之一。如果能够了解燃烧和火焰的机理，就能发现如何改进一切工程上使用的燃烧过程。从这里我们可以看出燃烧理论和热动力工程、化学及冶金工程有密切的联系。
>
> 随着喷气技术的发展，燃烧理论的研究更重要，同时还出现另外一些化学流体力学的问题。例如，当远射程弹道式火箭进入空气下层时由于壳身表面附近的高温，而产生空气的离子化，这种过程需要进行研究，才能对于壳身表面的传热得到认识。
>
> 在12年国家重要的科学技术任务中，牵涉到化学流体力学的项目是很多的。例如石油炼制工业（干馏，催裂化）、黑色冶金工业（新型冶金炉）、有色冶金工业（沸腾层焙烧）等方面都需要进行固定床、移动床和流体化床的研究；动力工业方面需要对燃烧理论进行研究，另外还提出冲击管技术在高压加氢上的应用。

既然化学流体力学对于工业和国防具有如此普遍的重要意义，它也就应该是力学一个新的生长点。并且，力学和化学、物理学密切结合，必然引起力学本身进一步的发展。

规划说明书深入分析了国际和国内化工、冶金和燃烧领域的研究状况，认为"过去化学工程和冶金工程界对于力学的方法及其成就的应用是很不够的"，而力学界"对于化工和冶金方面出现的根本性问题也还没有作出应有的贡献"，所以化学流体力学的发展前景十分广阔。在此基础上，说明书提出了12项重点课题：(1)结合微粒流体力学、分散系统中的传热理论以及化学动力学的数据进行固定床

① 《国家科学规划委员会关于1956—1967年基础科学学科规划》，上海市档案馆，案卷号：A52-2-742。

和流体化床流动、传热和传质相似律和机理的研究。(2)流体中的不均匀多相反应的研究和扩散火焰的研究。(3)预混可燃气体中片流燃烧火焰速度的研究(负责连锁反应的火焰传播、扩散过程影响等),火焰和爆震波内部结构的研究(这方面应结合光谱分析进行)。(4)爆震波的产生条件和稳定性的研究。(5)高速气流中燃烧的稳定性的研究。(6)湍流火焰的研究。(7)带有热产生离子的化学流体力学问题研究。(8)冲击管中的化学流体力学问题研究。(9)沸腾料层的燃烧理论。(10)雾化液体燃料的燃烧机理研究。(11)内弹道学中的化学流体力学问题的研究。(12)强爆炸中的化学流体力学问题的研究。这些研究方向和内容都是比较新颖的,并且具有明确的应用目标。

如何发展化学流体力学?规划说明书建议从构建研究网络、培养新生力量和争取苏联帮助这三方面入手。在研究网络构建方面,建议:(1)1956 年底以前在力学研究所成立化学流体力学组,着手培养研究干部,每年吸收优秀的化工、热工(热力发电设备专业)和物理化学等方面的大学毕业生 3 人。(2)在化学流体力学研究上,力学研究所、动力研究所、化工冶金研究所和石油研究所等单位密切联系、共同合作,并在燃烧光谱的研究上取得应用物理研究所的协助。在新生力量培养方面,建议:(1)1959 年在清华大学工程力学研究班设立化学流体力学专业,每班招收 30 人,两年毕业,以力学研究所在这方面的干部为教师,结合教学与研究。(2)1963 年在一个水平较高的化工学院(天津、成都或大连)设立化学流体力学专业,每年招生 40 人,从四年级学生中选收,两年毕业,每年留 15 人作为基本干部。在国际合作方面,邀请国际上有关化学流体力学方面的专家来我国作短期讲学。在第一、二个五年计划时期内,派遣研究人员 6 人到苏联等国家的研究机构(苏联动力研究所、化学物理研究所等)工作两年,学习提高。另外,在 1959 年以前派留学生 2 人,1964 年以前派留学生 5 人,到苏联留学。①

3.2 物理力学

在《规划纲要》第 56 项"现代自然科学中若干基本理论问题的研究"中,物理力学的建立、运筹学的建立与偏微分方程、非线性数学分析、天体演化、场论和量子力学基础、固体和液体中若干重要理论问题、物质的化学结构及其与性能的关系、蛋白质的结构及功能和合成、生物的个体发育、生物的系统发育以及动植物引种、驯化和培育的理论等被列为 12 项中心问题。②前两项作为基本理论研究的中心问题

---

① 《国家科学规划委员会关于 1956—1967 年基础科学学科规划》,上海市档案馆,案卷号:A52-2-742。

② 《国家科学规划委员会关于 1956—1967 年国家重要科学技术任务说明书第 56 项(现代自然科学中若干基本科学理论问题的研究)》,上海市档案馆,案卷号:A52-2-798。

是从力学方面提出来的，并建议由力学所担负筹建的主要任务，可以确定这出自钱学森的意图。当时，这两门学科在国内完全是空白，钱学森比较早地认识到它们的重要意义，并从力学角度提出来。中心问题说明书还分别对这两个中心问题的研究目的和意义、主要科学问题等作了详细说明。

在力学学科规划中，钱学森专门将物理力学作为力学学科的一个分支学科看待。崔季平表示，科学规划中有物理力学，这是钱学森的意见。"制定到科学发展规划中，是比较严肃的事，也表现了他言必信、行必果的风格。"[1]下面根据力学学科规划，来揭示钱学森建设和发展物理力学的基本想法。

物理力学属于什么样的学科？它的研究内容、研究目的是什么？发展前景如何？它与物理学、化学的区别何在？《力学学科规划说明书》这样写道：[2]

> 物理力学的目的是由物质的微观结构来推论和预见物质的宏观性质。例如，知道了气体分子的结构来计算气体的热力学性质、它的导热和粘性系数，它的热辐射性能；或者，知道了液体的分子的结构来计算液体的热膨胀系数、压缩系数、比热和音波传播速度等；或者，知道了晶体结构来计算固体的热力学性质、弹性性质和强度。总的说来，物理力学是为工程技术服务的，它供给工程师以从理论上计算工程用材料和物质性能的方法，以减少耗时费钱的实验，更好地利用已有的实验结果，而更重要的是：懂得了物理力学的原理，选择工程用的材料和物质就可以快而且不盲目了。
>
> 当然应该指出，物理学家和化学家在过去也做了不少由微观性质推论出宏观性质的工作，像统计力学、气体的分子运动论、液体理论、固体强度理论等。物理力学的工作和这些物理学家、化学家的工作的区别就在于，物理学家和化学家的工作是基本科学的研究工作，注重原则性的问题，不注意也不容纳半理论、半经验性的研究方法，物理力学是一门技术科学，是面向工程技术的，着重在得出工程技术中所要用的结果，而工程技术的实际情况往往十分复杂，基本数据不够完全，这样如果由基本原则出发，就不能解决问题，必需引用实验结果来结合理论，这就成了半理论半经验性的研究方法，这是方法上的区别。此外，工作范围的大小和工作的程度也有区别，这就是说，物理学家和化学家既然只注重原则性的问题，他们得出的结果，离开工程师们的需要还是有一定距离的，物理力学的工作者就不能如此，必需更进一步，更深入实际问题，然后才能得出有实用的结果。

---

① 王卉、张巧玲、潘希：《从物理力学起落看钱学森学术思想》，《科学时报》2009 年 11 月 12 日。

② 《国家科学规划委员会关于 1956—1967 年基础科学学科规划》，上海市档案馆，案卷号：A52-2-742。

当时，物理力学属于正在形成中的新学科，难以完全把它的主要问题确定下来，规划说明书仅仅根据当时的发展状况提出了 8 项研究课题：(1)总结分子结构的实验和理论结果，用经验规律求出分子式和分子结构的关系，分子键的方向性和能量，然后研究由分子式描出分子结构的方法及分子能关系。(2)总结分子结构和各种分子内部运动能位的关系，用经验规律的方法求出由分子式计算分子的各种能位谱，进一步作出应用统计力学计算分子在气态中的热力学性质的方法。(3)结合液态理论和实验结果，建立物理力学的液态理论，求出计算液体性质的方法。(4)研究固体的热运动理论，建立固体的物态方程，由此求出材料在各种温度、压力下弹性性质的相互关系。(5)从固体微观结构求出固体强度及变形的理论，也就是把强度理论建立在金属物理和固体物理的基础上，然后提出改进工程材料强度的方向和方法。(6)发展不平衡状态下的统计力学，先着手整理现有的小摄动统计热力学，作为求出流体应力和应变率关系形式的方法；也可以用它求出化学变化对流体应力的影响等。(7)进一步发展分子运动论，计算气体、液体以及电离气体的力学性质。(8)研究从分子、原子、离子性质计算高温气体导热性质的辐射性能，用特殊的冲击管研究气体在一万度到几百万度高温中的性质。

钱学森等人认为，我国没有丰富的科学人员储备，立即开展物理力学的研究有困难，迫切需要培养一定数量的物理力学专门人才。基于这样的考虑，规划说明书将物理力学的发展目标定为："培养一定数量的物理力学专门人才，以推广这门科学的研究和使用。"为此，规划说明书建议在力学所成立物理力学组，作为研究中心，培养物理力学专门人才，每年吸收优秀的物理和物理化学专业的大学毕业生或青年教师 5 人。另外，1960 年秋开始在清华大学工程力学研究班设立物理力学专业，从工程物理专业四年级学生中选出人员来学习，两年毕业，每年 30 人，用力学所在这方面的研究干部为教师，结合教学进行研究。①

综上所述，力学学科规划围绕国家经济建设和国防科研任务，内容涉及学科发展远景，各分支学科的内容，高校力学专业设置与人才培养，实验室与设备建设等方方面面。新兴分支学科如高速空气动力学、化学流体力学、物理力学等均被列入重点发展领域，许多与工业建设密切相关或在科学探索上具有重要意义的分支学科也被纳入规划，改变了过去我国力学过分集中在弹性力学、结构力学等少数学科的局面。规划还指出各个学科方向在国计民生方面具有重大应用价值的研究内容，使力学界明确了应该承担的责任和努力的方向。一句话，力学学科规划充分贯彻了技术科学思想，曾担任科学规划力学组秘书工作并参与力学学科规划的郑哲

① 《国家科学规划委员会关于 1956—1967 年基础科学学科规划》，上海市档案馆，案卷号：A52-2-742。

敏回忆说:“力学规划这一块,其指导思想就是钱学森从 40 年代形成的系统的技术科学思想,他认为这个学科的性质应该是一个为国防建设、工程技术服务的,是基础科学与工程技术的桥梁,应该用科学的观点、科学的发明,来帮助解决工程中的问题,应该能够以创新的科研成果引导工程技术的发展。”①

3.3 运筹学

运筹学是 1940 年代形成的一门新兴学科,它研究用定性、定量的方法对人力、物力进行合理筹划与运用。1938 年,苏联数学家康特洛维奇开展生产组织的调度和规划方法的研究,1939 年出版《生产组织与计划中的数学方法》一书,成为运筹学的重要分支规划论产生的标志。二战期间,英美在某些军队参谋部中设立专门的研究组,从事作战行动的研究,如消灭敌方潜艇、保护商船、防空等。这些研究组在研究作战经验和科学分析的基础上,提出了关于配置武装力量、选择最有效的作战方法的建议。②1951 年,美国学者毛尔思、金贝尔总结二战期间的经验和方法,合著《运筹学方法》,成为世界上第一本以“运筹学”为书名的专著。运筹学研究的问题与生产实践有着密切联系,并对生产的改进效果显著,所以它一出现,立即引起各方面的关注,成为帮助解决生产和经济规划问题的专门学问,迅速涌现出线性规划、排队论、质量控制、对策论、部门间经济平衡模型等分支学科。

钱学森可能是最早关注运筹学的中国科学家,他在美国时就觉察到运筹学的重要价值。回国后,他根据国民经济和国防建设需要,竭力倡导开展运筹学的研究。在科学规划期间,钱学森谈到过运筹学在交通运输与经济规划中的作用,还讨论过在两军对战情况下运筹学的研究。③经过努力,他与许国志将运筹学列入科学规划的第 56 项任务。在《规划纲要》中,他们这样写道:“在经济建设及国防建设中,有若干问题如交通调拨之类在一定的人力物力条件下,存在着一个最有效而迅速的具体解决办法,如何寻求此种解决办法就是属于运用学的研究范围。”对这个问题的研究,“不但对自然科学理论的发展有重要意义,而且对工程技术的改进也有极大的帮助。”④其间,许国志负责起草了“运用学的建立”中心问题说明书。

说明书首先介绍了运筹学产生的缘起、研究内容、目的及重要价值:⑤

---

① 郑哲敏:《力学研究所访谈》,载胡亚东等:《中关村科学城的兴起(1953—1966)》,湖南教育出版社 2009 年版,第 117 页。

② 周华章等:《运筹学在建筑工业中的应用》,建筑工程出版社 1959 年版。

③ 何祚庥:《钱学森教授与发展科学技术的十二年规划》,《院史资料与研究》1992 年第 3 期。

④ 国务院科学规划委员会:《1956—1967 年科学技术发展远景规划纲要(修正草案)》,1956 年,第 39—40 页。

⑤ 《国家科学规划委员会关于 1956—1967 年国家重要科学技术任务说明书第 56 项(现代自然科学中若干基本科学理论问题的研究)》,上海市档案馆,案卷号:A52-2-798。

运用学发源于第二次世界大战。当时是为了解决一些在战争中所发生的,关于武器使用和人员物资调动问题。这类问题对战争影响很大,关系着战术的决定、补充的准备,以及很多后勤方面的问题。一方面它们经常发生,而又迫待解决;另一方面它们又显然不属于任何专门学科。当时在英美,便召集了各式各样的科学家来集体应付这情况。那些新题目、新方向,便形成了运用学的大体轮廓。在战后,这门新学科便被用来尝试解决一些工商业,交通运输等方面的问题。目前的主要发展方向是:(一)线性规划、(二)排队论、(三)搜索论。我们各举例简单说明它的内容。(一)在石油工业中,因为原油的种类不同,经过热裂化以后,所得到的各种最后产品的数量也不同。同时用同一种原油,经过不同的热裂化,得到的各种最后产品的数量也不同。现在如果我们要供给一定量的产品,在原油供应的情况许可下,在厂内设备许可下,我们应该用各种原油各多少;用哪些热裂化来处理,使得总成本最低。这是线性规划中的一个典型问题。(二)在空运发达的城市里,飞机盘旋空中,等着降落。尤其是当自备飞机也掺杂在班机里。这样,到达的飞机便是"随机"而来,并不按着固定的规则,如果我们要不让飞机盘旋空中,或者每只飞机不超过一定的等待时间,那么我们就得扩大飞机场的设备。照常理说,如果我们统计地知道每小时有多少飞机到达,也知道每架飞机降落大概要多少时间。按着这个比例来扩大设备,应该可以达到我们的目的。可是情况并不这样简单。因为飞机在着陆时,可能发生轻微事故,因此延长着陆时间。这样后面的飞机便聚集着,排队在空间盘旋了。排队论最初是由电话工程师创始和研究的,现在应用得很广。最近苏联一些数学家对此也开始注意。(三)在战争中飞机侦察潜水艇是一件惯见而又很重要的事。这里的问题是当飞机不知道潜水艇在何处出水,入水;同时潜水艇也不知道飞机将在何处侦察。飞机为了有效地侦察到潜水艇,而潜水艇为了能逃脱,都得各自找出一个最稳当的战略。如何找出这战略,便是搜索论中的一个典型问题。

上面那许多问题,我们早就碰到过。但当时工业不发达,交通不复杂。因此问题便容易解决。今天随着国民经济的发展,不但问题随着繁复,而且得失关系全国,毫厘相差千里。因此就得用新的科学方法,求得严密而精确的解决。这就说明了运用学的重要性。它的实践意义,不难通过上面的例子而加以了解。

在国内,存在着一大批问题,尤其是线性规划问题,还是凭着经验,和用大量时间去计划调配。我们的目的是希望本中心问题完成后,能发展一些适合国内情况的理论和方法,来节省处理那些问题的时间,和加速有关任务的完成。进而解决一些现在还无法解决的问题。通过了这些实践来建立运用学学科。

为了迅速发展运筹学，说明书建议从 1956 年秋季在清华大学设立运筹学专业，每年招生 30 名，由力学所协助编写教材、培养师资；1956 年夏季，力学所增设运筹学组；1961 年设立独立的运筹学研究机构，配备电子计算机 1 架；1962 年，应在另一适当工业高等院校设立第二个运筹学专业，每年招生 30 名。根据国外的发展情况，说明书提出采取如下途径建设运筹学：一、详细调查文献，了解国内实际问题的性质，订出一些具体的较小规模的研究问题。二、"着眼于纯理论性的相关学科中的联系"。三、"通过实际问题的研究，扩大同时也精简了运用学的内容"。四、找出运筹学中最基本的概念，建立完整而严谨的体系。①

当时，运筹学在我国是空白，文献资料缺乏，甚至数学界尚不知道运筹学为何物，要在这样的条件下建立一门新学科，其难度无异于在荆棘丛生的密林里找寻出一条道路。如数学家王元说："我们中国以前没有应用数学，1952 年，我刚大学毕业时，还不怎么知道有应用数学这个东西，过去我们中国数学家基本上是孤立地搞数学，也不知道交叉；1956 年，钱学森从美国回来，第一次倡导运筹学，我们才知道世界上还有应用数学这么一个东西。现在，应用数学变得非常重要了，今天如果还有人认为应用数学不重要，那么这个人肯定非常愚蠢。"②1940 年代诞生的运筹学，1956 年就被纳入中国的国家科学规划，无疑彰显出钱学森极富远见的战略眼光。要知道，此时运筹学的国际性学术组织——国际运筹学会联合会(IFORS)尚未成立，直到 1959 年才成立。

除了六项"紧急措施"、力学外，技术科学思想还体现在科学规划的许多方面。利用技术科学对传统工业进行改造，为工业发展开辟新途径，一直是钱学森追求的目标。当时，他四处奔波，把技术科学介绍给许多工业领域，诸如从化工、氧气顶吹电炉到风力发电机等过去未与空气动力学发生过联系的领域，以至于《规划纲要》在多处提出用技术科学对传统工业进行改造的主张。如在机械制造领域，提出"为了设计制造国民经济各类不同专业机器而进行的科学研究涉及异常广泛的基本理论和工艺技术。例如发展长江水力发电需要 30 到 50 万千瓦的水力发电机组，必需结合流体力学进行水轮机模型试验，以确定叶片的最好形状，并进行其他结构问题以及若干制造工艺问题的研究"。③在矿业领域，提出："研究金属、熔渣、气体、熔盐等的热力学性质与反应动力学，为寻找新的冶金方法开辟途径"。④从这个角度

① 《国家科学规划委员会关于 1956—1967 年国家重要科学技术任务说明书第 56 项(现代自然科学中若干基本科学理论问题的研究)》，上海市档案馆，案卷号：A52-2-798。

② 王丹红：《王元院士：交叉科学不简单　需要最好的数学家去做》，《科学时报》2010 年 11 月 26 日。

③ 国务院科学规划委员会：《1956—1967 年科学技术发展远景规划纲要(修正草案)》，1956 年，第 18 页。

④ 国务院科学规划委员会：《1956—1967 年科学技术发展远景规划纲要(修正草案)》，1956 年，第 13 页。

来看，科学规划既为技术科学发展开辟了广阔的空间，也为它的发展方向定下了基调，即配合工业建设和国家需要有重点地开展研究工作。

技术科学思想在科研机构设置与工作分工上也有所体现。在东北参观时，钱学森发现国内在科研机构分工问题上存在不少缺陷。针对此，《规划纲要》明确提出科学院与产业部门的研究机构的分工原则，认为："科学研究工作的绝对分工是不可能、也不必要的。但是，适当的分工则是必要的，是研究工作的客观实际所决定的。"产业部门的研究机构，"一般总是多注意生产上的现实问题，对于科学新领域的开拓和基础科学的研究工作，事实上很难同时兼顾；至于如何把本部门的新成就加以发展并推广到另一部门去，更不容易顾到了。"科学院的研究所，"可以少受眼前生产上比较零星问题的束缚，可以把主力放在发展新的科学技术领域和基础科学的研究上，担负起探索新方向和寻找新道路的任务"。其中，科学院技术科学部的研究机构应注意发展重要的技术理论，如无线电技术，自动化技术，机械学中的强度、磨损、润滑，化工中的化工原理，机械设计的系统理论，金属生产中的金属学，电工中的高压现象，动力中的传热学、热物理、多相热工学、应用光学等。[①]言下之意，科学院原来从事工业技术研发的机构应以技术科学作为主要的工作方向，因为技术理论是所有产业部门共同需要的，有些还是带有边缘性的科学生长点，它们的发展和提高，可以带动很多方面的技术进步。

第四节　六项"紧急措施"的实施及其效果

由于知识生成背景和社会运行机制的差异，在中国发展技术科学不能照搬西方经验，必须对其加以合理改造，使之与国情和社会相适应，以充分发挥指导经济建设和国防建设的功能，这样才能获得持续发展的机会和资源。钱学森以渊博的学识、聪明的才智和综合集成的本领，将技术科学思想创造性地与科学规划制定要求结合起来，让发展技术科学上升为国家科技战略，使科学规划的内容既反映现代科学技术发展潮流又符合国情，出色地完成了规划制定工作。曾在综合组担任秘书的何祚庥评价说："在钱学森同志的主持下，当时的综合规划组曾逐项地讨论过56项重大科研任务。在讨论过程中，钱学森同志除了从国家经济建设、国防建设的需要的角度来审定这些项目的指导思想以外，他总是从现代科学可能有的发展

① 国务院科学规划委员会：《1956—1967年科学技术发展远景规划纲要（修正草案）》，1956年，第50—51页。

的前景的角度，向这些项目的倡议者或草拟者提请他们注意现代物理和化学的成就对解决这些重大科研任务的作用和影响。这就使得这些科学研究项目的制定能看到科学技术发展的未来。”正是“有了这样一位科技决策的大战略家来主持，这使得这一《纲要》的制定，既符合了我国的国情，又突出了时代精神。”①钱学森对科学规划制定工作作出了不可替代的贡献，得到中央和科学院领导的高度评价。张劲夫回忆说：钱学森担任综合组组长，“作过一个很精彩的关于核聚变问题的学术报告，为科学规划的制定出了许多好主意，特别是他亲自起草和制定的关于火箭喷气技术，实际就是导弹技术的发展计划，我看了很受鼓舞。”②郭沫若院长看过科学规划后，更是诗兴大发，欣然挥毫，题作七律诗一首，赠与钱学森，诗曰：“大火无心云外流，望楼几见月当头。太平洋上风涛险，西子湖畔景色幽。突破藩篱归故国，参加规划献宏猷。从兹十二年间事，跨箭相期星际游。”

这份科学规划成为中国科学界向现代科学进军的行动纲领。规划工作甫一结束，国家立即根据科学规划任务说明书，组织落实六项“紧急措施”，着手筹建电子学、计算机、半导体和自动化等新的研究机构。1956 年 8 月 18 日，科学院党组书记张劲夫签发“(56)党组张发字第 44 号”文，上报陈毅副总理并转中央关于“中国科学院请批准筹建计算技术、电子学、自动化及远距离操纵等三个研究所和筹备委员会名单”。8 月 25 日，陈毅在科学院上送的报告上批示：“同意办，报总理及中央。”随后，科学院成立了由华罗庚任主任委员、以数字电子计算机为研究方向的计算技术研究所筹备委员会，由钱伟长任主任委员、以高速飞行器的远距离操纵为研究方向的自动化研究所筹备委员会，由李强任主任委员、以远程雷达配套元器件为研究方向的电子学研究所筹备委员会。在半导体方面，科学院先在应用物理研究所建立半导体物理研究小组，以锗、硅材料和器件为研究方向，由王守武负责。由于没有场所，周恩来批示将西苑大旅社六号楼划为这些筹备委员会的临时办公场所。科学院还组织以闵乃大为团长的计算技术考察团，1956 年 9 月 12 日至 12 月 2 日赴苏联科学院及其他有关部门，考察学习计算技术的新成就以及建立计算技术研究所与开办计算技术训练班的经验。

经过几年的紧张筹备，这些原本处于空白状态的学科先后有了专门的研究所。1959 年 5 月，科学院成立计算技术研究所；1960 年 2 月，成立自动化研究所；7 月，成立电子学研究所；9 月，成立半导体研究所。这些新设研究机构以科学规划为依据，大多在确定工作方向和研究任务时体现了理论与工程结合的技术科学思想。

---

① 何祚庥：《钱学森教授与发展科学技术的十二年规划》，《院史资料与研究》1992 年第 3 期。

② 张劲夫：《中国科学院与“两弹一星”》，载科学时报社编：《请历史记住他们——中国科学家与“两弹一星”》，暨南大学出版社 1999 年版，第 34 页。

如1956年10月11日—13日，自动化及远距离操纵研究所筹备委员会在北京召开第一次筹委会扩大会议，讨论自动化所的研究方向和任务。会议确定自动化所的研究方向为：解决工业生产过程自动化和有系统地提高和发展理论的研究工作。工作任务是发展自动调节理论，建立工程计算方法，发展生产过程自动化的科学基础，发展电力拖动的理论，发展工业对象的远距离控制、远距离测量和远距离调整的理论和方法，发展技术工具制造的科学基础。依照学科规划，国家还新建和扩建了许多研究机构，使这些新兴学科走上了蓬勃发展的道路。

《规划纲要》还影响到全国高校新办专业的设置，许多高校依据科学规划制定专业人才培养计划，尤其是建立了大批与六项"紧急措施"相关的新专业。1956年国家决定在清华大学、哈尔滨工业大学、交通大学开办电子计算机专业。北京大学、南京大学、复旦大学、厦门大学和吉林大学五校联合在北京大学开设半导体专业。当年下半年，又派出10多人去苏联科学院有关研究所进修三个月。另外，还举办了工程力学、自动化、计算机与计算技术研究班、训练班等。随着这些工作的全面展开，一大批为国家急需的新兴学科纷纷建立起来，薄弱学科也得到了加强。从这个角度看，规划的实施还是一次资源重新配置的机会，借此确立新的学科布局，构筑新的科技体制和学科创新基地，开拓新的研究领域，使我国科技事业走上现代化的轨道。

二战以后，以原子能、电子计算机、空间技术为代表的新技术革命风起云涌，在1960年代中后期达到了高潮，引起生产力的革命性提升，人类生产和生活方式乃至社会、文化领域也受其影响而发生了深刻变化。在科学规划的指引下，尤其是六项"紧急措施"的实施，使我国科学技术事业与世界科技的主流方向接上了轨，迎头赶上了这次新技术革命的浪潮，大大缩小了与科技发达国家之间的差距。1963年，中央科学小组与国家科委在制定1963—1972年科学技术发展规划时，对十二年科学规划的实施情况和效果作出过总体评估："到1962年底，已经执行了七年。检查结果，在十二年规划的五十四项任务中(另有三项是国防科学技术、喷气技术和原子能利用，不计在内)，有四十六项任务已经基本上达到了原计划1962年的目标；有一项任务，是规定基础科学主要发展方向的，不能按具体目标检查，但是这方面的成绩也是显著的；其余还有七项任务进行了大量的工作，但尚未达到原定目标。""应当说明，自1958年以来，随着国家建设需要和国际上科学技术的新发展，在执行规划过程中增加了许多新的研究课题。因此，按整个研究工作的规模来说，和原计划提出的1962年底以前应做的工作比较，不是做得更少，而是更多。这在发展某些现代工业技术和尖端技术方面，表现得尤其明显。为了配合原子能、喷气技术和若干工业新技术的发展，在新型材料、精密与重型设备、计算技术的研究试制等方面，工作的规模与工作的

质量都超出了原规划的要求。"[①]这份官方自评报告认为，绝大部分任务提前完成，也就是说用 7 年时间完成了 12 年的工作量。客观地说，其中不免有夸大拔高的成分。实际上，其间"反右"、"大跃进"等政治运动不断，造成任务完成的情况参差不齐，有些项目完成情况比较理想，成绩显著，有些项目的推进则步履维艰，成绩乏善可陈。关于规划实施后我国科学技术事业所达到的水准，也是评价不一，有的认为达到了世界先进国家 1940 年代的水平，[②]有的认为大体上达到了世界先进国家 1950 年代中期的水平。[③]无论怎么说，规划的实施对我国科学技术事业起到了显著的推动作用，较好地解决了一批经济建设和国防建设中迫切需要解决的重大问题，填补了我国科学布局中的许多空白，发展了原子能、电子学、计算机、自动化、喷气推进等新兴的技术科学，打下了自力更生发展科学技术事业的基础。特别是，"两弹一星"工程的成功实施和重大突破，使我国科学技术事业实现了跨越式发展，大大提升了国防实力，奠定了有影响的世界大国的国际地位。

科学规划的制定和实施对我国科技发展模式与管理体制的形成也起到了决定性作用。规划将科学研究纳入有计划地进行的轨道，标志着中国科技发展模式的根本转型。在科学技术力量比较薄弱的情况下，适当集中力量，缩短战线，精选急需的领域进行重点攻关，突破和掌握关键技术，是符合我国国情的，也取得了非常好的效果。后来，国家把制定恰当的科学规划作为科技工作的基本经验，长期在科技领域担任领导工作的聂荣臻对此给予了很高的评价："一九五六年，我们集中了几百名科学家和技术人员，前后用了近十个月的时间，制定出十二年科学技术发展规划，明确重点项目，坚持科研先行。这个规划既突出了五十七项重点项目，又照顾了科技发展各方面的需要。……实践证明，这种科研先行，重点与一般相结合的科技规划，对我国科技事业的发展，起到了良好的组织和推动作用。""这种集中统一领导进行攻关的方法叫做'任务带学科'。这是发展科学技术的一个好办法。当然，这并不是唯一的方法。"[④]也就是从那时起，我国科技界逐渐形成了紧盯国家战略需求、应用任务推动型的发展模式，即以应用为先导，通过任务的实施带动科技创新。这种模式的长处是创新活动具有针对性，不过容易诱导急功近利的毛病，往往满足于工程性的应用成果，对理论科学重视不够，导致原始创新乏力。换言之，"以任务带学科"的原则比较适合基本原理清楚、具有明确发展目标的工程性科研项目的规划和实施。

---

① 中央科学小组、国家科委党组：《关于 1963—1972 年科学技术发展规划的报告》(节录，1963 年 10 月 24 日)，载中央文献研究室：《建国以来重要文献选编》(第 17 册)，中央文献出版社 1997 年版，第 492—502 页。

② 武衡、杨浚：《当代中国的科学技术事业》，当代中国出版社 1991 年版。

③ 聂荣臻传编写组：《聂荣臻传》，当代中国出版社 1994 年版，第 540 页。

④ 聂荣臻：《努力开创我国科技工作的新局面》，《红旗》1982 年第 24 期。

第五章 创建技术科学研究机构

——以力学研究所为中心

科学规划将应用力学、电子学、自动控制等技术科学列为我国优先发展的科学领域，在国家体制的支持和推动下，一大批新兴的技术科学研究机构如雨后春笋般地建立起来，开展了大量结合国家需要的研究工作，有力地推动了技术科学在国内的植根和成长。另一方面，随着国家大规模经济建设与国防建设的展开，机械、航空、水利、土建等行业不断向科学技术领域提出新的课题。而各种新建的工业力量又为科研工作所必需的实验设备研制提供了可靠的保证。这两个方面所发生的变化，使技术科学的发展具备了适宜的环境和条件。

哲学家罗素说："在先进的国家，实践启发理论；在落后的国家，理论鼓起实践。"①在科学后发的中国，自然是"理论鼓起实践"，即学术思想决定科学工作思路。根据科学规划的要求以及经济与国防建设的需要，钱学森以技术科学思想为指导，创办综合性研究机构——中国科学院力学研究所，组织化学流体力学、运筹学、物理力学、塑性力学等新兴学科与方向的筹建，建立了较为完整的技术科学体系。在这个过程中，钱学森如何贯彻科学规划的要求？如何将技术科学思想付诸实践？他在各个新兴学科建立过程中起到什么样的作用？本章以力学所为中心，探讨钱学森在推进技术科学建制化过程中的活动及其影响。

第一节 考察东北

1955年9月17日，钱学森携妻带幼乘坐"克利夫兰总统号"海轮离美，踏上了

① [英]罗素：《西方哲学史》(下)，马元德译，商务印书馆1976年版，第129—130页。

归国之旅。10月8日在广东深圳入境，当晚抵达广州。主管科学和外交工作的陈毅副总理指示科学院派代表前去迎接钱学森。科学院委派朱兆祥南下迎接钱学森一家，并沿途陪同参观访问高校、科研机构和工厂，一路北上护送至北京。10月28日，钱学森一家到达首都，受到科学院的热烈欢迎。11月1日晚，郭沫若院长在北京饭店举行盛大宴会，在京的竺可桢、吴有训、钱伟长、周培源、叶企孙、饶树人、江泽涵、曾昭抡、华罗庚、茅以升、严慕光、秦力生、郁文等科学院领导和科学家出席，欢迎并庆贺钱学森夫妇归国。竺可桢在当天的日记中写道："钱已七八年不见，比前苍老甚多，虽只43岁，恐因在美国被软禁五年所致。据说五年中不露一笑容云。"①

11月5日，陈毅专门接见钱学森，并指示安排他在科学院工作。关于归国后的工作安排，11月3日《人民日报》报道：钱学森"已经接受了中国科学院的邀请，准备主持和领导中国科学院力学方面的研究工作"。②当时，科学院提出请钱学森和清华大学的钱伟长一起筹建力学所。启程南下之前，科学院吴有训副院长找朱兆祥谈话说："院里的意思是趁钱先生回国之际就把力学研究所建立起来，可以以钱伟长先生在数学研究所建立的力学研究室为基础，他们有12个研究人员，有一半是回国的留学生，都很精干。我们已经和周培源、钱伟长先生酝酿过，大家都赞成请钱学森先生当所长。我的意见是他回来之后以先到科学院来为好，暂时不要到国防部门去，这样在国际上的印象好一些，这一点最好请你在路上跟他委婉地谈一谈。"③在陪同钱学森北上途中，朱兆祥将科学院的意思转达给了钱学森。对于科学院对他今后工作的安排，钱学森"觉甚是"，感到很高兴。此时，他和朱兆祥都不知晓正在讨论是否发展导弹技术这个事关全局的大事的国防部门对他的殷切期望。

1.1　调研东北地区科学与工业技术状况

在着手筹建力学所之前，吴有训副院长对钱学森说："你刚回来先去东北看看中国的工业吧，中国工业最好的是东北。"④其意是让钱学森尽快了解新中国工业建设成就和技术水平，以便他更好地结合国家建设需要来筹划今后的研究工作。钱学森没有去过东北，就欣然同意了这个安排。科学院对钱学森东北之行非常重

① 竺可桢：《竺可桢全集》(14卷)，上海科技教育出版社2008年版，第207页。

② 柏生：《热爱祖国的科学家钱学森》，《人民日报》1955年11月3日。

③ 朱兆祥：《追忆钱学森1955年回到祖国和参观东北的经过》，载黄宗煌主编：《钱学森——中国爱国知识分子的杰出典范》，清华大学出版社2011年版，第105—119页。

④ 钱学森：《周总理让我搞导弹》，载《中国航天50年回顾》，北京航空航天大学出版社2007年版，第2页。

视，专门向国务院提出申请。国务院特地就此发特级电报给黑龙江、吉林、辽宁三省及有关城市，电报称："科学院提请允准新自美返国的我国著名科学家钱学森赴东北各有关厂矿、学校、研究所参观。按钱学森的专长是力学、自动控制、航空工程等，在了解我国建设情况及技术水平后将对他未来的研究工作有所帮助。"①实际上，从深圳入关直至抵达北京的沿途中，钱学森先后访问过广州、杭州、上海的高校、研究机构和工厂，如在上海参观了交通大学、科学院植物生理所、有机化学所、冶金陶瓷所、上海电机厂、上海汽轮机厂等。在北京，参观过北京大学、清华大学、北京航空学院、北京钢铁学院及科学院应用物理所、地质所等单位。②

根据考察计划安排，钱学森在朱兆祥等人的陪同下，从 1955 年 11 月 22 日开始，自北至南，在东北整整考察了一个月，于 12 月 21 日返回北京。在这一个月的时间里，他们先后参观了东北地区的高校、科研机构、厂矿、企业等 20 多个单位，如哈尔滨市的哈尔滨工业大学、哈尔滨军事工程学院、哈尔滨电机厂、科学院土木建筑研究所；长春市的科学院机电研究所、应用化学研究所、仪器馆、第一汽车厂、东北人民大学；吉林市的小丰满水电站、造纸厂；沈阳市的东北工学院、科学院金属研究所、第一机床厂、风动工具厂、重型机器厂、冶炼厂；抚顺市的露天煤矿、石油厂；鞍山市的鞍钢；旅大市的大连工学院、大连造船厂、大连机车厂、科学院石油研究所等。③

在考察过程中，钱学森一方面深入工厂、企业调研，仔细了解生产技术水平以及遇到的技术难题，为技术科学寻找能提高工业技术水平的研究课题搜集第一手信息；另一方面，详细了解高校、科研院所研究工作发展状况，并与科研人员座谈，交流意见。如 11 月 28 日与哈尔滨工业大学教授座谈，12 月 5 日与科学院机电研究所研究人员和东北人民大学（吉林大学）校长、教务长及理科各系主任座谈，12 月 6 日参观东北工学院"有关冶金、机械、电力和矿山机电的各个实验室及实验实习工厂"，了解该校科研工作开展情况。④期间，钱学森还与一些力学工作者交流学术见解，如在大连工学院对钱令希预言，电子计算机将使科学工作从计算困境中解放出来，建议他跟上时代，掌握计算机，将计算机应用到力学工作。⑤钱令希接受他的建议，转向计算力学研究，后来在计算力学领域取得了重要成就，成为我国计算力学的开拓者。

---

① 《（电报）钱学森赴东北参观事（55 国发戌字第 86 号，1955 年 11 月 20 日 22 时）》，黑龙江省档案馆。

②③ 朱兆祥：《成立力学所的笔记（1955—1956）》，中国科学院档案馆。

④ 《著名科学家钱学森来我院参观并举行座谈》，《东工生活（东北工学院院刊）》1955 年 12 月 16 日。

⑤ 钱令希：《钱学森先生与计算力学》，载宋健主编：《钱学森科学思想暨学术思想研讨会论文集》，中国科学技术出版社 2001 年版，第 122—127 页。

1.2 发表关于技术科学的演讲

11月28日、12月5日和12日，钱学森应邀先后在哈尔滨工业大学、机电研究所和东北工学院做了三次学术讲演，讲演主题基本上是围绕技术科学展开的。他深入浅出地讲述技术科学思想与研究方法，介绍应用力学等技术科学的发展状况、最新趋势及其对经济建设、国防建设的重要作用。根据朱兆祥当年的记录，①讲演内容主要有以下几个方面：

第一，应用力学与技术科学的特点、功能及研究方法。

当时的中国科学界，对于科学技术只有基础科学与工程技术两大类别的划分法。科学院虽设有技术科学部，但所辖研究所基本上属于工程技术开发与设计性质的机构。按照国内习惯，钱学森将"工程科学"改为"技术科学"。但是，这里的"技术科学"与科学院技术科学部中的"技术科学"的含义差别很大。

为了以正视听，消除国内的曲解，钱学森在讲演中一再阐释"技术科学"这个新概念的内涵。他说："技术科学是工程技术的科学，和工程技术有分别，和基本科学有分别，介乎二者之间。基本科学把研究对象简化了来解决，希望得到精密的答案。技术科学要求解决实际问题，而因素很复杂，不能随便舍去，所有重要因素都要考虑到。什么是重要，什么是不重要，是技术科学最困难的问题。技术科学家要解决的问题是不简化的粗略的问题。技术科学不解决工程技术中特殊的问题，而解决一般的问题。如航空设计、水利都需要流体力学，而后者是技术科学。"在这里，他简明扼要地指出"技术科学"的内涵、与基础科学的区别及其目的和功能。他还说："从技术科学来看，力学即应用力学，其精神是50年前由德国大数学家克莱因提出的……当时把力学当作数学来看待，离工程很远，他就倡导应用力学，其实也就建立了技术科学。这个过程是很成功的"。即近代力学主要是应用力学，它是技术科学的龙头学科。力学研究与具体的工程设计存在着本质的区别，钱学森指出："力学不是工程，因它解决的问题是有一般性的，如流体力学是技术科学，但不是汽轮机专家，不是飞机设计师，而是提出一些理论帮助后者。所以，应用力学是关于工程和基本科学之间，不直接解决工程问题，而要领导工程的发展。"

怎样做应用力学或技术科学研究呢？在东北工学院的讲演中，钱学森介绍了技术科学的研究步骤和方法，他说："所有技术科学不从理论出发，而从实验出发。从很多工程技术的实际中观察分析；如果研究的问题在工程师看来是奢侈品，那就没有意思。说理论不和实际符合，那么错在实际，这样的理论不能叫做理论。因而

① 朱兆祥：《成立力学所的笔记(1955—1956)》，中国科学院档案馆。

技术科学工作者对自然、生产过程中的问题要关心。因此要做研究，首先要总结生产中的问题，实验的资料(把这些主要数字记在脑筋中，做研究时可以灵活运用)，研究工作进行时，应对实际现象进行分析，要记住实际现象很复杂，看不出头绪，因素很多，我们不能在研究中全加考虑，因此要分析其中的主要因素，和不主要因素分开。在实际现象中，主要的因素在各种实验中出现的次数最多。这样分析不一定得出正确的理论，只能找到一些局部问题。有经验的科学家在少数因素中再选择其中的主要因素。这是一个创造过程，是对于自然现象长久观察后的经验。选取这种因素后，制造一种模型，再来进行分析，与实验结果进行比较，比较对了就是真理，如不对则要修改模型。”这里，他主要强调理论分析在技术科学工作中的重要地位，强调应寻找问题的本质，抓住主要矛盾。建立模型虽是技术科学工作的重要部分，不过他指出：“模型只能模拟自然的一部分，不能模拟全部，因而不要把这模型就当作自然。”

钱学森特地提到数学在技术科学工作中的作用：“技术科学在理论分析方面也有些特点，它用到一些高深的数学，使把模型转换成数学形式。数学帮助进行理论分析，它不能创造什么东西。应用力学中用了很多数学，而对数学也起了推动作用(如小参数的微分方程问题)，但不要把数学作为代替人的东西，数学只是一种工具。”

关于相似律，他指出：“找出相似律，把很多力学中的问题变成无量纲的常数，这样可以帮助了解这一事实中各因素的相互影响，不重要的因素就不会在无量纲常数中出现。所有力学的理论计算，经常不能很□□(精确?)(5—10%)，因理论把实际问题简化了。如实际问题常出现非线性方程式，我们算术解答把它线性化了，这样就舍去了很多东西，不能得出精确解。因此只好应用实验用相似律来解决问题。”

他还强调理论与实验结合的重要性：“技术科学中要观察一类问题中的相似之处，如弹性力学中的薄壳强度问题，从前是很困难的问题，四十年前都大体认为解决了。但这些理论和实验相差很远。”“在何情况下古典理论可用，在何情况下要做实验，这是关键问题。解决实际问题要用最经济的力量，这是技术科学的精神。”总之，研究工程技术中的共性问题，为工程技术提供最为合理的解决方案是技术科学工作的精髓所在。

第二，应用力学与技术科学的新领域及其发展趋势。

在三次讲演中，钱学森不仅介绍了流体力学和固体力学这两大经典学科的发展趋势以及亟待解决的问题，还介绍了许多新兴领域的发展动态，内容远远超出应用力学的范畴。关于流体力学，他说：“由于喷气推进的发展，有了超音速航行，在超音速飞行中，附面层空气温度达到很高，使气体分子变成离子，这样就在流体力学中必须考虑化学变化、电磁现象等，这样就给流体力学带来了新的问题。又高速

飞行中机壳与空气之间发生振动,使机壳产生很大的反复应力(如弹性力学与动力学结合起来了),这种振动又不是调和振动,因之,要用统计学的观点来研究。这就需要一种新的数学分析方法"。

对于燃烧学,他提出"要把化学和流体力学结合起来"。

说到激波管,他说:"利用冲击波在管中可造成高温气体,再加膨胀可得超音速气流,这样可作高速风洞实验,可研究高超音速长距离火箭问题。""在冲击管中如空气为沼气,经冲击波作用,后加以膨胀,能有部分变 CH_2 或 CH,冷却后,另外分子变成不饱和的碳氢化合物如电石气 C_2H_2,即化学工业建立(在)很快的速度的变化上。""也可利用冲击管中快速流带入的冷空气,□□后产生很大的压力。这样造成另外一种动力机,介于涡轮机和活塞机之间,速度很高。"

他专门介绍了物理力学这门新的技术科学的研究内容:"应用现代物理和化学的结果来预测工程材料的性质。理论上计算所得固体强度比实际强度大得多,这说明理论研究很不完全,现在已应用近代物理结果到这方面去。气体的比热是易计算的,但在高温下很难测量,利用统计力学的结果加上经光谱测选能位(?),可以计算气体的比热。这就是把现有物理、化学的成果搬到流体力学中来。还有困难的是流体的性质问题。液体的分子之间距离不如固体和气体,其排列既不整齐又不紊乱,用技术科学的方法,可以把实验测定的某些常数与理论的轮廓结合起来。"

钱学森特别讲到统计数学,说:"统计的观念,在振动和统计力学中已提到,在工程中也有很多统计的问题,因而不能用古典的数学,而要用统计数学,一是自动控制和调节理论……过去理论很粗浅,现在要求很精确,这样的精确自动控制必须估计到自动机械的测量本身有误差,误差间相互关系很复杂,可以利用这复杂关系来设计控制系统,使得最后的误差不大,这就要用统计数学。"

关于自动控制发展的新方向,他说:"我们对自动控制系统要(有)一定的要求,在系统中加入一因素,使产生一定的性能。这在数学上有特殊的东西,设计的东西是我们要(求)一定的性能,即已知道了答案,而求加入的因素,即先知微分方程的解,而倒过来求微分方程,自动调节理论中包含很多新的数学看法。""以前自动控制是从电话逐渐出来的,问题简单,准确度要求不很高,一般自动设计可以满足需要。最近把自动控制用于飞机、飞弹、远距离火箭的控制,需要很准,但需要调度的资料,需要测量仪器测量,而测量不能很准,在这种情况下,就要用近代数学(或然论)来解决。"

讲到运筹学时,他说:"工程经济中一主要问题,是如何排列生产工具完成一定任务,使得到最好的经济效果,这可以列出数学公式,这数学是很怪的,往往是一个联立方程,其中未知数很多,比方程数多得多,因之答案是不定的。在特殊条件下,

如最经济可以决定这(个)计算,因未知数很多要用新的数学方法。"

他还指出计算机的重要性,说:"计算机的研究在自动控制中很重要。计算机的理论要运用近代数学的结果。"对这些新领域及其发展趋势的介绍,让国内科学同行耳目一新,眼界大开。

如何在中国开展这些新兴技术科学的研究呢?钱学森主张在积极吸收国外成果的基础上,自力更生地开展研究工作,他特别指出:"不要以为新的学问一定要有专家来教,或有一套现成的书来读。但研究工作中的问题全是没有人知道的问题,可以组织互相讨论的方式,找材料,区别不关紧要的和紧要的问题。现在我们有马列主义哲学指导我们,靠我们自己可以解决问题。""如对这方面知识不知道,可以先总结文献,把自己提到世界水平。研究工作不能性急,不要□起就做,这样很盲目,也许做了半天人家早已做过,最好是找出文献,逐篇组织讨论,到了解为止。"

第三,关于科学研究与工业生产结合问题。

在考察、参观及发表学术讲演过程中,钱学森非常注意思考技术科学与国家建设结合的问题。他多次强调科学研究要与工业结合,"科学研究和工业教育一定要领导工业技术前进,走在工业前面,不能老是跟在人家后面去解决那些出了问题的被动的问题"。当时,我国科研工作主要由科学院、高等院校和产业部门这三大系统的研究机构承担。关于科学院技术科学部与产业系统研发机构之间的任务与分工,他说:"科学院技术科学部各研究所应解决一般性问题,其最大任务是领导工业技术的发展,要了解工程技术的世界水平,这样可以了解十年、十五年的发展方向,也许是现有工程的深进一步,也许完全是新方向。""决定了方向后,现有的研究是为这种大的研究打下根基。对于某些研究有眉目时,就交给工业部门去研究,建立中间工厂,然后交给企业研究所。这划分不是很机械的,而有交错,有时工厂提出问题不能研究,我们也应做,但我们的基本的、主要的是领导生产技术的改进,生产中的问题可以做,但不是主要的。"也就是说,技术科学研究机构"要注意未来的工业发展方向,要干人家不能干的事,要对工业起领导作用",以为国家工业发展开辟新方向、新途径为己任。

钱学森还对一些了解到的情况提出了不同看法,认为我国科学与工业缺乏联系,各研究机构内部太分散,各干各的,对科学院某些研究所的工作也不太满意,觉得"有些工作应该由产业部门来抓,不应该是科学院来管。"①此外,他就一些研究所的工作提出了具体意见,如建议石油研究所建立一个综合性研究室研究热传导、流体力学等问题;建议仪器馆"做些理论研究,解决工业和科学研究中的测量问

① 郑哲敏:《钱学森的技术科学思想与力学所的建设和发展》,《力学进展》2006 年第 1 期。

题”；建议机电所的“金属切削问题也可以从一般理论方面来研究，如做螺丝，可以研究一下用哪种方法来做螺丝最经济。”“机电所要有一个中心目标，则可以把各组的工作综合在一起，不致今年做这个，明年做那个题目。”除此之外，他还言及工作相近的研究机构的分工和合作问题，如关于机电所、力学所的分工，力学所把力学“理论的轮廓、大纲建立起来，而其内部结构的充实，则和别的所的合作是最合适的。”①从这些建议或意见可以看出，钱学森认为科学院的技术科学研究机构应以技术科学作为主要的工作内容，研究工作应有一定的计划性，研究机构之间应加强联系，既分工又合作。

这些讲演“一次比一次深入和展开”，充分展现了钱学森的技术科学思想，也表露出他在中国发展技术科学的设想。当时，“一五”计划正在如火如荼地进行，工业化快速推进。这使钱学森对社会主义计划性管理体制的优点有了初步认识，他觉察到社会主义制度能从集体利益出发，有计划，能够协调各个方面的工作，具有较高的效率，将为技术科学的建立和发展提供适宜的制度与环境。朱兆祥回忆说：“此行收获很大，使钱先生和我都感到惊讶，深深感受到社会主义制度在统筹和协调工作上的巨大能力，可以集中力量办大事。才 6 年时间的建设，祖国的面貌已经大变，焕然一新。”②考察过程中的所见所闻、令人耳目一新的变化，让钱学森既感到震惊又欣喜若狂，觉得一方面要将自己的学识和智慧毫无保留地传授给同胞，另一方面要努力探索建立一个为经济建设和国防建设开辟新道路的技术科学研究机构。朱兆祥曾把钱学森在考察过程中所主张的观点与后来建设力学所的方案做了比较，发现钱学森“回国时向往成立的研究所的内涵远比传统的应用力学要宽要深，实质上是希望办成一个运用马克思主义方法论的、足以领导工农业生产前进的‘技术科学研究所’”。

东北之行，一方面使钱学森对新中国科技和工业水平有了初步认识，另一方面，有助于他找寻技术科学与国家需要的契合点，让即将组建的力学所为经济建设和国防建设开辟新途径。12 月下旬，钱学森向科学院汇报了关于发展中国力学事业的一些设想。另外，在介绍技术科学思想和方法过程中，钱学森还从更为广阔的视角思考技术科学与国家需要结合等宏观问题，为随后参与科学规划制定工作作了一些思想准备。

1.3　考察哈军工

除了民用机构外，哈军工这所国防院校也是钱学森东北考察的重要一站。

① 朱兆祥：《成立力学所的笔记(1955—1956)》，中国科学院档案馆。

② 朱兆祥：《钱学森先生在力学所初建的日子里》，《力学进展》2006 年第 1 期。

其中有一个鲜为人知的插曲，起初黑龙江省委在安排钱学森参观行程时并没有哈军工，因为按照保密规定，地方上只有省委委员以上的人员才允许进入该校参观。当朱兆祥拿着行程表征求钱学森意见时，钱学森说："我有两个朋友在哈尔滨，一个叫庄逢甘，一个叫罗时钧，我希望这次能见到他们。"根据钱学森的请求，黑龙江省委向北京方面请示，得到了上级的批准。原来，正在北京的哈军工院长陈赓大将得知这个消息，就第一时间告诉了国防部长彭德怀，邀请钱学森访问哈军工。更令人没有料到的是，陈赓当天清晨乘专机从北京飞到哈尔滨，亲自接待钱学森。钱学森在哈军工参观了两天，这是他回国后第一次对新中国的军事科研情况进行直接了解。陈赓陪同钱学森一行，参观了空军工程系、海军工程系、炮兵工程系等。在参观炮兵工程系实验室时，任新民教授为钱学森作详细介绍，二人彼此交换了对我国研制火箭的看法。在室外一个非常简陋原始的固体燃料火箭实验装置前，钱学森停了下来，很有兴趣地和正在拆装的教师讨论起来。陈赓从旁特意问钱学森："钱先生，你看我们能不能自己造出火箭来?"钱学森回答说："有什么不能的，外国人能造出来的，我们中国一样能造得出来!"①这句掷地有声的回答坚定了国防部门发展导弹技术的信心，也改变了钱学森后来的人生与事业轨迹。

随后，彭德怀、陈赓等主张发展导弹技术的军方高级领导人频繁约见钱学森，与其深入讨论如何发展导弹技术等方面的问题。在周恩来总理鼓励下，1956 年 2 月 17 日钱学森向中共中央呈递《关于建立我国国防航空工业意见书》，提出了发展我国导弹技术的指导原则、组织方案、发展计划和具体措施。意见书认为，航空工业包括研究、设计和生产三大部分，基本指导原则是："研究、设计和生产三面并进，而在开始时，重点放在生产，然后兼及设计，然后兼及研究"，还开列出 21 位可以调来做高级技术工作的专家名单。②导弹研制的前景和风险难以预测，这份意见书让国家坚信做出上马耗资巨大的导弹技术的决策是可行的。3 月 14 日，周恩来主持召开会议，会议决定发展导弹技术，由周恩来、聂荣臻和钱学森等筹备组建导弹与航空研究的领导机构——航空工业委员会，下设设计机构、科学机构和生产机构。4 月 13 日，国务院成立以聂荣臻为主任的航空工业委员会(对外不公开)，钱学森被任命为委员。5 月 10 日，聂荣臻提出《关于建立我国导弹研究工作的初步意见》，建议在航空工业委员会下面设立导弹管理局，钱学森任总工程师；并建立导弹研究院，钱学森任院长。随后，钱学森受命负责组建导弹研究机

---

① 朱兆祥：《追忆钱学森 1955 年回到祖国和参观东北的经过》，载黄宗煊主编：《钱学森——中国爱国知识分子的杰出典范》，清华大学出版社 2011 年版，第 105—119 页。

② 钱学森：《关于建立我国国防航空工业意见书(1956 年 2 月 17 日)》，中央档案馆。

构。10月8日，中国第一个导弹研制机构——国防部第五研究院正式成立，钱学森担任第一任院长。

第二节　力学研究所的建所方针、工作方向与任务

2.1　力学研究所成立之经过

为什么要成立力学研究所？1953年，科学院党组在向中共中央送呈的《关于目前科学院工作的基本情况和今后工作任务的报告》中提出："对于在生产上或学术上迫切需要，而目前十分薄弱或根本缺乏的学科，要立即充实与建立"。①力学属于我国比较薄弱的学科，急需充实，成立力学所即为贯彻这一指导方针的具体体现。为此，科学院在"一五"计划纲要中提出要在1956年成立力学所。1953年底，在数学研究所设立力学研究室，钱伟长兼任研究室主任，工作方针是"发展力学研究，与北京大学、清华大学合作，从培养干部着手，进行有实际意义的关于弹性、塑性、流体力学与空气动力学的研究，并为在一定时间后独立建所准备条件"。②力学室设有弹性力学、塑性力学和流体力学三个研究组。将力学研究机构设在数学研究机构里面，无疑是参照苏联科学院力学研究机构的设置模式。③成立后的数学所力学室，一方面着手培育人才，另一方面开展与工业建设有关的研究，"为独立建所准备条件"。在钱伟长的领导下，力学室学术思想活跃，工作卓有成就，在短短两三年时间里出版了研究论文集《弹性圆薄板大挠度问题》、《弹性圆薄板的小挠度平衡问题》、《弹性柱体扭转理论》，发表了多篇很有影响力的论文，如胡海昌的论文"论弹性体力学与受范性体力学的一般变分原理"提出了"广义变分原理"。到1955年秋，力学室已有胡海昌、林鸿荪、庄逢甘、郑哲敏、李敏华、程世祜、蔡树棠、戴汝为、何善育等12位研究人员，"无论从工作规模或研究力量"看，均已初步具备成立力学所的条件。

钱学森的归国，使成立力学所一事被迅速提上科学院的议事日程。在钱伟长的策划和安排下，建所工作迅速开展起来。1955年11月中旬，科学院就成立力学所召开了多次座谈会，邀请北大、清华、北航的张维、周培源、杨式德、杜庆华、陆士

① 樊洪业：《中国科学院编年史（1949—1999）》，上海科技教育出版社1999年版，第36页。

② 《物理学数学化学部关于成立力学研究所的报告》，《中国科学院年报（1956）》，1957年，第206页。

③ 华罗庚：《对苏联数学研究工作的认识》，载《学习苏联先进科学——中国科学院访苏代表团报告汇刊》，1954年版，第75—89页。

嘉、吴仲华、钱伟长、王仁、周光炯以及数学所力学室的胡海昌、郑哲敏等力学家座谈，就力学学科发展趋势以及与力学所成立有关的问题征求意见。如11月17—19日，大家讨论了流体力学、弹性力学、塑性力学等学科的研究计划和发展目标，确定了各学科筹备工作的任务分工。①

1955年底，力学室从数学所迁出，开始筹备独立建所，在科学院1956年度工作计划及预算中也将力学所作为独立的单位。与此同时，数学物理学化学部向科学院院务会议提出成立力学所的报告，认为"有条件也有必要正式成立力学研究所"。②1956年1月5日，科学院召开当年第一次院务常务会议。郭沫若院长及几位副院长等13位同志出席了会议，钱学森、钱伟长、周培源、朱兆祥等8人列席，会议第一项议程就是讨论数学物理学化学部的《成立力学研究所的报告》。钱学森在会上报告了力学所的筹备情况，华罗庚、钱伟长、李四光、茅以升以及科学院顾问拉扎连柯也做了发言。③经过研究讨论，大家一致认为："成立力学研究所以适应我国工业建设的需要，是本院第一个五年计划已确定的任务，成立该所的准备工作早在一九五三年即已开始进行。……目前无论从工作规模或研究力量等方面看来，都具备了成立力学研究所的条件。"④于是，会议通过成立力学所的报告，决定呈报国务院批准。另外，会议还同意力学所提出的方针、步骤和工作措施，为加强力学所的学术领导，责成数学物理学化学部协助力学所成立学术委员会。1月7日，科学院拟文呈报国务院，提出《关于成立力学研究所的报告》。1月16日，陈毅副总理签署批复该报告，力学所由此获得了"准生证"。当月，以数学所力学室12人为班底，正式成立力学所。

2月7日，科学院第六次院务常务会议将在数学所力学室基础上成立力学所列入1956年的工作计划，由数学物理学化学部提出具体方案。9月5日，第二十次院务常务会议任命钱学森为力学所所长、钱伟长兼任副所长。⑤10月，郭永怀回国，任力学所副所长，副所长还有晋曾毅(党委书记)，朱兆祥任所学术秘书。钱伟长在1957年"反右"运动中被打成"右派"，副所长职务随之被撤销。1958年5月，杨刚毅任力学所党委书记兼副所长。1958年以后，钱学森的主要精力转向国防部五院，只有每周六到力学所指导物理力学研究人员的工作，力学所的学术领导工作主要由郭永怀主持。

---

① 朱兆祥：《成立力学所的笔记(1955—1956)》，中国科学院档案馆。

② 《物理学数学化学部关于成立力学研究所的报告》，《中国科学院年报(1956)》，1957年，第206页。

③ 竺可桢：《竺可桢全集》(14卷)，上海科技教育出版社2008年版，第269页。

④ 《中科院第一次院务常务会议纪要》，中国科学院档案馆。

⑤ 《中国科学院通告任命钱学森为力学研究所所长等职(1956年9月5日)》，中国科学院档案馆。

2.2　力学研究所工作旨趣的确定

筹建力学所是钱学森回国后国家交给他的一项重要任务，也是他推动技术科学在中国建制化的第一站。如何结合国家需要发展力学科学，怎样有效地组织现有研究力量，建设什么样的研究所，是钱学森必须深入思考的问题。在科学规划制定过程中，他曾与钱伟长、吴仲华、胡海昌、朱兆祥、郑哲敏等力学家探讨过这些问题。国家批准设立力学所以后，钱学森正式担负起筹建力学所的重任，将自己多年学术研究的结晶——技术科学思想作为建所理念，从学科设置、研究方向与任务的确定，到研究人员聘请、研究设备添置、年轻人才培养等，都亲历亲为，精心组织实施。

首先，明确力学所的办所理念和工作目标。工作方向的选择对于研究机构来说，是一个至关重要的问题，因为这直接决定未来的发展方向与前景。一般来说，选择工作方向既要根据社会需要，又要结合自身的学术积累和兴趣。科学院与高校、产业部门的研究机构应有适当的分工，是当时科学界和教育界的共识。大体上，"科学院主要是研究基本的科学理论问题和解决对于国民经济具有重要意义的关键性的科学问题"①。那么，在科学、工业都比较落后的中国需要一个什么样的力学所？"力学是介于工程和基本科学之间，不直接解决工程问题，而要领导工程发展"，对国家未来的工业起领导作用。这是钱学森的基本主张，也是他在"论技术科学"一文中所反复强调的：力学是一门为工程技术服务的技术科学，而"技术科学是从实践的经验出发，通过科学的分析与精炼，创造出工程技术的理论。""工程理论又是新技术的预言工具。因而技术科学也能领导工程技术前进，是推进工程技术的一股力量，是技术更新、创造新技术所不可缺的一门学问。"②为此，钱学森等力学家在科学院数学物理学化学部《关于成立力学研究所的报告》中着重突出力学研究对国家建设事业的重要性，认为："力学研究的发展将与技术科学的许多部门有重要关联，我们在初步讨论了力学发展的远景计划后，认为我国工业的巨大发展将有赖于技术科学方面，其中主要是力学方面的开创性的研究，而实际上已有国家产业及建设部门向我院提出一系列的重要的与力学有关问题急待解决，可以断言，在今后工业及国防方面的工作会和力学研究工作发生更密切的关系"。③因此，在力学研究室的基础上成立力学研究所，不只是改变名称、扩充机构，而是意味着办

① 中共中央对中国科学院党组《关于目前科学工作的基本情况和今后工作任务给中央的报告》的批示（1954年3月8日），载中共中央文献研究室：《建国以来重要文献选编》（第5册），中央文献出版社1993年版，第164—168页。

② 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》1957年第4期。

③ 《物理学数学化学部关于成立力学研究所的报告》，《中国科学院年报(1956)》，1957年，第207页。

所理念的升华以及学科布局、学术方向的全面调整和开拓。

另一方面，技术科学思想是在西方社会形成的，在采取集中式体制的社会主义中国创办技术科学研究机构，显然不能完全因袭以前的经验，必须探索新的建设模式。新中国对科学工作的基本要求：一是研究目的是为了改进和提高生产，科研成果能够增加国家的经济和国防实力。二是要贯彻理论联系实际的方法论。所以，确定力学工作的目的和研究方法是钱学森首先要解决的问题。1956 年 1 月 6 日，力学所筹备机构召开全所人员大会，钱学森在会上做了"关于力学研究方法"的报告，①表达了力学研究的基本精神以及对力学所未来工作方向的初步定位。

其中，钱学森说道："力学的研究一定以实验结果和工程经验为出发点，挑选研究题目也根据这精神。""任何科学研究必须和实际结合，挑选题目应从国家工业推进方向、实际生产过程中发生什么问题(出发)。我们要耐心考虑，从里面可以发现其中的共同之点，解决这一问题可以解决类似的若干问题。"即力学工作必须坚持理论联系实际的原则，研究课题来自生产实际，目的也是为生产服务。

他继续说："题目选定后，一定要从实验结果出发，不是从实验结果来组织理论的研究，要从实验结果的不同之处，分析其矛盾。有些问题没有实验结果无法进行工作，而有实验结果，就□□。""任何问题都有它的关键之点，即有它的主要矛盾。在研究过程中，一定要很快弄清哪些是主要之点，这样可以暂时忽略其中非主要之点。提出了一个模型代替了实际问题，使得我们易于掌握，如果最后理论与实际不符的话，那不必惊奇，那是因模型不能完全代表实际。""实际是用思想表达出来的东西，很多已经□□化了的，不能达到绝对完全的程度。很多问题的过分精密化没有意义，因假说本身就有些问题，大家不要忽视近似解。""研究工作一定要注意一般性原则。要有判断能力，哪些问题是可能的，哪些是不可能的。要有掌握基本科学知识的精神。要做到此，要开诚布公讨论，不懂就是不懂，应提出来问。对别人的工作也应直率提出意见。""研究的结果要注意实践的意义。'我做出了结果，用不用由你'这种清高思想是不对的。研究结果应该给人看，工程师能用你的才算完事。"另外，还谈到具体的研究工作。

关于思想学习，钱学森主张"讨论哲学一定要运用到业务中去"。至于学风和工作制度，他说："反对自由作风，计划在做题目，但不愿列入计划，恐怕做不成。不列入计划，可以随便□□。这样做法不好，要建立劳动纪律，做的东西一定要按计划做出结果来，说做就做。""研究结果一定要写报告。目前未完成的研究一定要把他完成写出报告来。""大家要保持集体劳动的精神，同时要注意□□科学之间的边

① 朱兆祥：《成立力学所的笔记(1955—1956)》，中国科学院档案馆。

缘，因之要把科学成果提出报告加以讨论，其次为加强我们对新鲜事物的敏感，提出一些新的□□报告，一月举行一次讨论会。”关于科研辅助人员，他主张资料、绘图等人员一定要配备，研究人员对辅助人员的态度要好，要培养集体合作精神，加强学术交流。

这个报告十分明确地表达了钱学森的办所思想，即以学科研究为基础，与国家经济和国防建设的需求结合，既要解决问题，又要提高理论；力学研究需要建立一支综合性学术队伍，提倡集体合作精神，对力学研究工作应有适当的计划作为指导。这个建所思想直接决定力学所各个学科方向研究工作的特点，对我国力学科学的发展也有着深刻的影响。

其次，确定组织体制和学术方向、研究课题。囿于力量所限，原来的数学所力学室主要集中在弹性力学等少数学科，涵盖的学术方向也较为狭窄。根据 1956 年 1 月 5 日第一次院务常务会议的要求，建所之初力学所将研究人员分成四个小组，即弹性力学、塑性力学、流体气体动力学和自动控制及调节理论组，共有专、兼职研究人员 14 人，其中副研究员以上 7 人。[①]自动控制及调节原理研究组，是钱学森 1955 年 11 月来到力学室以后增设的，由钱学森任组长。其余三个组的组长分别为郑哲敏、李敏华和林同骥。为何设立这四个研究方向？原因在于，“这几方面的高级及部分中级研究人员都具备独立开展研究工作的能力，而且可以担负起培养新的青年干部的责任”。[②]

在力学所筹建过程中，钱学森根据对我国工业技术水平的了解以及科学规划的要求，将力学所的学术方向和任务确定为：“着手研究固体力学、流体力学、化学流体力学和物理力学等方面具有实际意义的根本性问题和开辟新的方向，此外力学研究所还要在一定时期内帮助运用学和控制论这些科学的发展和成长。按照规划，在培养全国力学研究和教学干部这项工作中还负有重大的责任。”另外，“在十二年远景规划内其他任务中属于力学研究所工作范围内的各种研究工作，将和本院土木建筑研究所、机械研究所（现属机电研究所）、金属研究所、石油研究所、化工冶金研究所、生产自动化和远距离控制研究所以及其他研究单位进一步协商、密切联系合作”。[③]在这段时间，钱学森经过深入思考，1957 年在“论技术科学”一文中勾勒出技术科学未来的发展蓝图，接下来要做的就是把这些设想在力学所一步步地变成现实。

建所之后，钱学森对力学所各个学科组的研究方向和课题又做了仔细的考虑。

---

①② 《物理学数学化学部关于成立力学研究所的报告》，《中国科学院年报（1956）》，1957 年，第 206 页。
③ 《1956 年力学研究所工作总结及存在的问题》，中国科学院档案馆。

当时，他反复强调："研究工作不仅要有科学水平而且要有应用方面的针对性；力学研究所要服务于国家建设的需要，要以创新的科学研究成果带动工程技术的发展为最高目标。"①关于学术方向和研究课题的确定，他特意突出为国家需要服务的中心思想，要求"任何科学必须和实际结合，挑选课题应和国家工业推进方向相适应"。②对于学科方向的确定，参加过建所工作的郑哲敏回忆说，那时虽然有四个研究组，主要是搞纯理论研究的，与当时的国家建设关系不大，为国家经济建设目标服务也不明确。"钱先生第一次到力学所来就提出了每个组的研究方向要围绕着国家的重大问题。比如对弹性组，就要考虑我们国家是多地震国家，对地震的防护水平还不高，应该把主要的方向设定在为抗震服务方面上。"③为满足航空工业发展的需要，塑性组、流体组分别以高温合金塑性理论和透平机械叶栅流动为中心问题，而自动控制组重点研究工程控制论。据此，力学所在 1956 年的工作计划中，提出了抗震结构、高温下金属的塑性以及透平机械的流体气体动力学等具有重要实际意义并在理论上有广阔发展前景的工作，并准备采取如下工作步骤："全面地有系统地总结已有的文献及资料，定期举行讨论会，进行报告及分析，结合实际要求，发现关键性的问题并明确新的研究方向，写出总结报告的专著形式发表，使能相应完备地反映出该部门科学的发展现状，并为实际工作提出可靠的指导性的资料，并进一步开展重要的理论上及实验上的研究"，并且认为"在目前的条件下，这种集体工作的方式最能保证在短期内建立力学的一些重要部门的研究力量。"④

随后，力学所的学术方向随着形势的发展又发生了重大变化。1956 年 2 月 17 日，钱学森向中央呈递《关于建立我国国防航空工业意见书》，开宗明义提出："健全的航空工业，除了制造工厂之外，还应该有一个强大的为设计服务的研究及试验单位，应该有一个作长远及基本研究的单位"。而且，在研究工作的性质上这两种研究单位有所不同，"为设计而服务的研究有很大的计划性，必要在某一时期内完成某一工作，因此往往重点放在解决一定的问题，而不放在完全了解这问题的机理。"而作长远及基本研究的单位，"重点放在完全了解一个问题的机理，因而我们不能把时期限制过于严格；也必须要把工作定得灵活些，可以随机应变，探索新方向"。这种研究单位实质上就是技术科学研究机构，"在组织上可以在中国科学院系统之

① 郑哲敏：《力学研究所访谈》，载胡亚东等：《中关村科学城的兴起（1953—1966）》，湖南教育出版社 2009 年版，第 109—110 页。

② 王扬宗、曹效业：《中国科学院院属单位简史》（第一卷，上册），科学出版社 2010 年版，第 157 页。

③ 郑哲敏：《钱学森的技术科学思想与力学所的建设和发展》，《力学进展》2006 年第 1 期。

④ 《物理学数学化学部关于成立力学研究所的报告》，《中国科学院年报（1956）》，1957 年，第 206—207 页。

内……现在在科学院内，力学研究所的研究工作或多或少都与航空工业有关，其他研究所中的高温材料研究、电子学研究、计算机研究等也都与航空工业有密切关系”。①随后，钱学森根据国家科技事业的整体布局以及当时和长远的需要，及时调整力学所的学科方向。另外，钱学森在科学规划中将运筹学、化学流体力学和物理力学列为重点发展的学科，并规定力学所作为具体负责单位。根据科学规划的要求，力学所随即增建了运筹学、化学流体力学和物理力学研究组，使科学研究与国家建设需要结合起来，重点研究国防和工业生产中的新理论、新技术和新方法以及重要工业领域中的共性、关键性技术问题，以此带动工业快速发展。对此，郑哲敏回忆说："1956 年 1 月他给周总理写信提出发展我国火箭导弹技术的报告，不久又对力学所的工作做了第二次调整，增加了高速空气动力学、物理力学、化学流体力学、运筹学和工程控制论，这就增加了力学所原来所没有的一些更加基础的、应用范围广阔和国家迫切需要的一些领域。这种布局在国际上也是很超前的。"②在力学所筹建过程中，许多优秀力学家回国来到力学所，加强了研究所的学术力量，这使许多新兴学科得以建立，空白薄弱领域得到填补或充实。如郭永怀归国以后，在力学所建立了激波管组和等离子体动力学组。经过一段时间的调整，钱学森将力学所的中心任务确定为："为国防建设事业中的喷气技术服务，并且把力学研究成果广泛地应用到工农业生产中去，以促进我国伟大的技术革命，同时还要面对生产实际解决水利建设、机械制造工业、化学工业、冶金工业、石油工业、水利工程、建筑工程等各方面出现的大中小型的力学问题。"③1956 年下半年，生产自动化及远距离控制研究所筹备处成立，力学所的自动控制组划归该处，后来正式成立了科学院自动化研究所。

到 1956 年底，钱学森基本奠定了力学所的学科布局，建立了弹性力学、塑性力学、流体力学、化学流体力学、物理力学、运筹学组六个研究组，其中的物理力学组和化学流体力学组是当时全国唯一的研究组织。各研究组的负责人分别为郑哲敏、李敏华、林同骥、林鸿荪、钱学森、许国志，均为全国一时之选。而且，钱学森对各个研究组的学术方向也做了明确的定位。弹性力学组的主要研究方向定为防御地震结构的问题，这对于大型水工结构（如三峡、刘家峡等地的水坝）十分重要。为了发展高速飞行器（如超音速飞机、火箭、导弹）的结构设计方法，还研究对于由温度升高而引起的热应力以及由于空气与构件互相作用而引起的颤振问题。该组有高级研究人员 4 人、初级研究人员 4 人。塑性力学组主要研究高温下的机械（如涡

① 钱学森：《关于建立我国国防航空工业意见书（1956 年 2 月 17 日）》，中央档案馆。
② 郑哲敏：《钱学森的技术科学思想与力学所的建设和发展》，《力学进展》2006 年第 1 期。
③ 《中国科学院力学研究所概况》，中国科学院档案馆，案卷号：A011—020。

轮机等)设计问题、高温下金属材料的力学性能(如蠕变与松弛)及其变化规律,以及研究利用这些规律计算机件的强度和变形。另外,还研究常温下金属的塑性变形问题。该组有高级研究人员 4 人(另有兼任 2 人)、初级研究人员 8 人。流体力学组主要研究高速空气动力学,针对高速飞行器设计的需要,建设超声速风洞和激波管等实验设施。另外,着手开展电磁流体力学、稀薄气体动力学的研究。该组有高级研究人员 4 人(另有兼任 1 人)、初级研究人员 8 人。化学流体力学组,主要研究包括固体颗粒的气体流动现象(沸腾焙烧和流态化反应器的设计原理)、动力机械(如喷气式发动机)燃烧室中的火焰稳定问题,以及利用激波管中瞬时产生的高温高压从空气中直接固定氮的新方法。该组有高级研究人员 1 人、初级研究人员 2 人。物理力学组有高级研究人员 1 人(钱学森兼)、初级研究人员 3 人,"着重研究超过一万度的高温气体的性质,发展工程用的介质和材料的物理性能的计算方法"。运筹学组有高级研究人员 1 人、初级研究人员 4 人,主要研究线性规划和非线性规划,解决交通中的运输问题和编组问题,还研究生产中的质量控制问题。[①]

由此可见,力学所的工作范围已经大大超出了传统的力学学科,成为一个综合性的技术科学研究院,在世界上也是独树一帜的。如当时的苏联科学院力学研究所仅设普通力学、空气动力学、弹性理论、强度力学和过滤性理论这五个研究组。[②]力学所的学科布局表明,钱学森没有根据政治风向全盘模仿苏联的做法,而是根据自己的学术理念和国家需要,独立探索适合中国的技术科学发展道路。实际上,钱学森心中的想法远远不止这些,他曾提出过许多发展技术科学的设想。据朱兆祥回忆:"在钱先生的心目中,有许许多多的新技术可以在新中国发展。他举出航天技术、核聚变、自动化工厂、冲击波化学、风力工程、定向爆破、光能利用、农业工厂、以及气象工程等等,和这些新技术相应可以建立起许多影响国计民生的新的技术科学,前途无限宽广。"[③]当时的钱学森,目标非常远大,认为技术科学是一种事半功倍的方法,希望借助它来改造整个中国工业。

力学所完全是按照钱学森技术科学思想建立起来的研究机构,设立的研究组基本上是以学科为中心,既有注重学理研究的长远考虑,又有明确的应用前景和服务对象,它们的突破可以促进理论和工程技术上的巨大进步。对于力学所的学科布局和研究课题,钱学森的研究生范良藻评价说:"从力学所的建制看,除保留弹性力学、塑性力学外,新建的学科有:物理力学、化学流体力学、电磁流体力学、振动力

---

① 《中国科学院力学研究所概况》,中国科学院档案馆,案卷号:A011—020。

② 华罗庚:《对苏联数学研究工作的认识》,载《学习苏联先进科学——中国科学院访苏代表团报告汇刊》,1954 年,第 75—89 页。

③ 朱兆祥:《钱学森先生在力学所初建的日子里》,《力学进展》2006 年第 1 期。

学、爆炸力学、燃烧爆轰、高温等离子体、运筹学。行家一看，就知道这个研究所将干些什么。面向国家实际需求新建学科的这种模式，极大地冲击了'为科学而科学'的传统观念，以国防建设为背景的技术科学逐渐成为主流。"[①]这种融基础研究、应用研究和工程应用于一体的学科设置，改变了科学界的传统观念。如果深入加以研究，就会发现它们具有这样的特点：

一是着眼于为国家需要解决重大问题。与今日一说就要与国际接轨，赶超世界一流水平不同，力学所在跟踪国际动态的同时，注重"科学研究要为国家建设服务"，从中国实际出发，以建立自主的技术科学体系并解决经济建设和国防建设中的重大问题为目标。譬如，弹性力学组研究的颤振问题是当时高速飞机、导弹等高速飞行器设计中非常重要的问题，抗震结构的研究则直接服务于我国大中型水电站的建设；流体力学组研制高超声速风洞，是服务于高速飞行器的设计；塑性力学组研究涡轮机设计问题；运筹学组研究交通中的运输问题、编组问题以及生产中的质量控制问题；如此等等。

当时，钱学森对技术科学应用于工业生产有着深刻的洞察和预见，曾建议从技术科学角度开展对化工、冶金等生产过程和技术的研究。为此，力学所设立化学流体力学组，主要目的就是改造化工和冶金技术，为我国化工和冶金工业发展服务。他安排研究人员同科学院化工冶金研究所合作，并与叶渚沛所长保持着密切的学术联系，共同研究转炉顶吹氧、流态化床等问题。鉴于我国是一个多山和水资源短缺的国家，他很重视爆破开山和定向爆破筑坝的科学技术问题，亲自参阅有关资料，邀请国内专家来力学所做报告，派人去参观国内当时最大的矿山爆破，进而在力学所建立爆破组。为了利用风能，他亲自研究大型风力发电站，将风洞原理用于风车设计，计算并设计了一台可用于多风山口的风洞风车，[②]继而建立了风车研究组。为了研究低水头水能利用问题，建立了低水头发电组。他还积极安排三峡水利枢纽科研项目，开展百万千瓦水轮机的研究。从钱学森为力学所选定的学科方向与研究课题可以看出，其学术视野极其广阔，紧密结合国家战略需要尤其是航空、航天等工业发展的需要。这既秉承应用力学学派的学术传统，又以构建本土研究体系、为本国工业发展开辟新途径为目标，显示出良好的学术自信。另外，钱学森还注意从为中国科技体系填补学科空白的全局高度考虑问题，尽量避免设置与其他机构相同的研究方向，既避免了重复建设，又不造成学科欠缺，各单位之间还可以沟通、协调和合作。

---

① 范良藻：《钱学森先生的思维哲学和治学之道》，《科学时报》2006 年 12 月 11 日。

② 钱学森：《关于大型风力发电站》，《科学记录》1957 年第 1 期。

二是设立的研究方向多属于新兴学科，让力学所一开步就站在世界技术科学的最前沿。特别是，有些学科几乎是全新的学科，在国际上也是属于前瞻性的，担负着探索新方向和寻找新道路的任务，如"激波管及其应用、燃烧问题在国外虽然有许多人在进行研究，但是由于这些项目发展的历史很短，未来还有广阔的前途，是属于'尖端'科学的范围，我国过去完全是空白状态。有些科学目前即使在国外也完全是最近才建立的，不仅研究成果没有大量应用，而且理论也未臻完备，如电磁流体力学、物理力学等，在我国更是首创"。①物理力学、运筹学和化学流体力学这三个学科，当时在全国是独一无二的。运筹学作为一门独立的学科出现，一般认为是1960年代初期的事情。所以，力学所不仅是中国运筹学的"摇篮"，在世界上也属于较早开展这方面研究的机构。力学所运筹学专业首届研究生、后来担任过中国运筹学副理事长的吴沧浦说："我国的运筹学研究工作，是由钱学森先生于1956年在中国科学院力学研究所建立运筹学研究室开始的，钱先生以其敏锐的科学洞察力和远大的眼光，在西方运筹学发展的初期就将它引进我国，为我国运筹学的发展做出了重大贡献。因为有了这样快速的引进，我国的运筹学发展与西方比较，可以说差不多是同步的。"②对于这些新兴学科如何发展，钱学森也有着十分透彻的把握，高屋建瓴地提出过一些研究方向，主张予以优先发展。历史已证明，他的许多认识极富超前意识和战略眼光。

总之，钱学森善于根据国家建设需要，运用多学科和技术的综合观点，参考世界科学技术发展趋势，为力学所设计出旨在解决国家建设中重大科学技术问题的学科发展蓝图，让力学所一成立就处于国际前沿，并在许多方面具有特色。气动热化学家吴承康认为，力学所建所思想是钱学森关于技术科学思想的集中体现，他要求力学所主要进行技术科学研究，为解决国家建设中的重大问题和引导工业技术的发展作出重要贡献。③总体上看，钱学森创建力学所的基本设想与国家对科学工作的要求取得了高度的一致和吻合，让力学所不仅成为一个名副其实的应用力学研究机构，而且又是一个学科比较齐全的技术科学综合研究中心，既发展传统的应用力学，又开辟新的学科方向。力学所学科布局的成形，标志着应用力学等技术科学作为独立的科学门类在中国建立起来了，并为后来的发展奠定了学科知识和体制基础。

---

① 《中国科学院力学研究所概况》，中国科学院档案馆，案卷号：A011—020。

② 吴沧浦：《运筹学与最优化技术》，载宋健主编：《钱学森科学贡献暨学术思想研讨会论文集》，中国科学技术出版社2001年版，第117—121页。

③ 吴承康：《国家目标与技术科学——钱学森的力学研究所建所思想》，载庄逢甘、郑哲敏主编：《钱学森技术科学思想与力学》，国防工业出版社2001年版，第46—52页。

第三节　物色聚集优秀人才队伍

建所之初，力学所就汇集了一批国内应用力学界的顶尖人才，如获得 1956 年度中国科学院自然科学奖一等奖的钱学森，二等奖的钱伟长（兼）、胡海昌，三等奖的李敏华和胡海昌，显示出非同寻常的学术水平，保证了力学所具备相当高的学术起点。不过，对于建设技术科学综合研究中心这样的远大目标来说，现有的人才资源显然还是远远不够的。钱学森凭借自己的学术声望和人格魅力，广泛延揽优秀学者，并且知人善用，精心组建起一支向技术科学进军的学术团队。

钱学森与郭永怀、钱伟长，三人均承应用力学学派教泽，治学理念同出一辙。郭永怀与钱伟长 1940 年赴加拿大多伦多大学，师从应用数学家辛祺（J.L.Synge）和物理学家英菲尔德（E.Infeld）教授，此二人亦系哥廷根学派传人，既具有浓厚的数学功底，又对物理现象有着非常深入的了解。1941 年，郭永怀来到加州理工学院做冯·卡门的博士研究生。随后，钱学森与郭永怀交往日密，相知相敬，情同手足。后来，郭永怀"每谈到在 Pasadena 学习的往事，总是津津乐道，无限留恋，对年轻有为的钱（郭比钱长两岁）非常佩服，非常尊敬"。[①]1946 年 9 月，郭永怀应冯·卡门的弟子、康奈尔大学航空研究院西尔斯（W.R.Sears）教授之聘，成为该校航空工程系的台柱子。因同为冯·卡门弟子，钱学森与郭永怀"学术见解很一致，谈起来逸趣横生"。[②]他们共同攻研，取得了发现上临界马赫数这样的重大学术成就。郭永怀对奇异摄动法（PLK 方法）的发展作出了十分重要的贡献，钱学森从郭永怀那里掌握了这个数学工具。1956 年，钱学森特地在《应用力学评论》（*applied Mechanics Reviews*）上撰文介绍这个方法，将其命名为"PLK 方法"，其中的"K"即指代郭永怀。

力学所甫一成立，郭永怀就成为钱学森翘首以盼的第一人。1956 年 2 月 2 日，他致信郭永怀，内容如下：[③]

永怀兄：

接到你的信，每次都说归期在即，听了令人开心。

我们现在为力学忙，已经把你的大名向科学院管理处"挂了号"，自然是到

---

① 李佩：《朴素·坦诚·真挚——忆学森与永怀的友谊》，《神州学人》1990 年第 6 期。

② 钱学森：《写在〈郭永怀文集〉的后面》，载《郭永怀文集》，科学出版社 1982 年版，第 331—332 页。

③ 钱学森：《致郭永怀的信（1956 年 2 月 2 日）》，载《钱学森书信集》（1），国防工业出版社 2007 年版，第 4 页。

力学研究所来，快来，快来！

计算机可以带来，如果要纳税，力学所可以代办。电冰箱也可带。北京夏天还是要冰箱，而现在冰块有不够的情形。

老兄回来，还是可以作气动力学工作，我们的须要（"须要"应为"需要"）决不比您那面差，带书的时候可以估计在内。多带书！这里俄文书多、好，而又价廉，只不过我看不懂，苦极！

请兄多带几个人回来，这里的工作，不论在目标、内容和条件方面都是世界先进水平。这里才是真正科学工作者的乐园！另纸书名，请兄转大理石托他买，我改日再和他通信。

此致

敬礼！嫂夫人均此！

钱学森　上

1956年2月2日

我们有人出席世界力学会议（比国九月）

当得知郭永怀即将归国，钱学森在9月11日再次致信郭永怀，诚邀其加入力学所，其中写道："我个人还更要表示欢迎你，请你到中国科学院的力学研究所来工作，我们已经为你在所里准备好了你的'办公室'，是一间朝南的在二层楼的房间，淡绿色的窗帘，望出去是一排松树。希望你能满意。你的住房也已经准备了，离办公室只五分钟的步行，离我们也很近，算是近邻。""自然我们现在是'统一分配'，老兄必定要填写志愿书，请您只写力学所。原因是：中国科学院有研究力学的最好环境，而且现在力学所的任务重大，非您来帮助不可。——我们这里也有好几位青年大学毕业生等您来教导。此外力学所也负责讲授在清华大学中办的'工程力学研究班'（是一百多人的班，由全国工科高等学校中的五年级优秀生组成，两年毕业，为力学研究工作的主要人才来源）。由于上述原因，我们拼命欢迎的，请你不要使我们失望。"[①]字里行间，流露出对郭永怀欣赏、钦佩和期望之情。

1956年底，郭永怀如约而归，担任力学所副所长，踏上与钱学森一起在"美好的前景"鼓舞下为发展我国应用力学和国防科技事业而辛勤探索的征程。他与钱学森对发展力学事业有着共同的认识，孜孜不倦，身体力行，倡导和推动高超声速空气动力学、电磁流体力学和爆炸力学等新兴学科的研究，提出了许多重要思想和精辟见解。尤其值得称道的是，郭永怀在处理与钱学森的关系上堪称楷模，总是尊

① 钱学森：《致郭永怀的信（1956年9月11日）》，载《钱学森书信集》（1），国防工业出版社2007年版，第7—8页。

敬礼让，在公开场合从来没有看到他对钱学森的讲话和主张有什么不同意见，更不要说争执了，好像一切都是听钱学森的。有一次闲聊中，青年研究人员眭璞如大胆地问郭永怀："郭所长，为什么从来没听到你对钱所长讲的有不同意见？"郭永怀很严肃地说："他是师兄嘛！"稍停一下又补充说："我有不同意见都在事后我们两个人时当面向他谈了。"郭永怀虽年长钱学森两岁，但师从冯·卡门晚了几年，便对钱学森执师弟礼，并一直对钱学森尊重、爱护、体贴，令人感动佩服。①在力学所共事的12年中，两人彼此知心，和衷共济，配合默契，各自发挥所长，将力学所办得有声有色。1968年12月5日凌晨，郭永怀由西北某试验基地乘坐飞机返回北京时遭遇空难，不幸赍志以殁，令人痛心不已。1982年，钱学森说："郭永怀同志归国后，奋力工作，是中国科学院力学研究所的主要学术领导人；他做的比我要多得多。但这还不是他的全部工作，1957年初，有关方面问我谁是承担核武器爆炸力学工作最合适的人，我毫无迟疑地推荐了郭永怀同志。郭永怀同志对发展我国核武器是有很大的贡献的。"②对郭永怀的评价如此之高，郭氏的学术水平与为人处世之超然境界不能不令人肃然起敬。

钱学森思贤若渴，曾向多位旅美学者写信，邀请他们回国服务。1956年7月22日，钱学森写信给林木樟，邀其回国加盟力学所，说："现在国内科学研究开展甚速，但又苦无足够的工作人员。即以力学研究所来说，最近就要建立一些实验室，可是目前又缺少人负担设计设备，将来也要有人作实验室的工程师。我们想：既然力学是所谓 applied mechanics，其中包括了 aerodynamics 和 structures，而先生又是这方面的工程师，那么先生到力学研究所来担当上面所说的那个职务是再好也没有了。我们希望先生能接受这个恳求，回到祖国，共负建国的工作。"③由于多种原因，林木樟未能应邀回国服务。受到钱学森延揽的还有卞荫贵、钱寿易，他们一一应邀加入力学所。卞荫贵，1947年进入哈佛大学，1949年获得航空工程硕士学位，接着到霍普金斯大学航空系深造，1952年获得博士学位。同年，被弗吉尼亚理工学院聘为副教授，从事空气动力学、气体动力学等专业的研究和教学。1957年初，卞荫贵怀着对祖国的思念和对祖国成就的欣喜之情，回到了阔别十余年的祖国。这时，钱学森"欢迎您到力学所来"的一纸电文，使他毅然决定加入力学所工作。1957年，在美国工作的土力学家钱寿易收到钱学森的来信，信中转达了祖国

---

① 眭璞如：《点滴回忆　深切怀念》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学所，2009年，第7—11页。

② 钱学森：《写在〈郭永怀文集〉的后面》，载《郭永怀文集》，科学出版社1982年版，第331—332页。

③ 钱学森：《致林木璋的信（1956年7月22日）》，载《钱学森书信集》（1），国防工业出版社2007年版，第10—11页。

母亲对海外游子的召唤，希望他返回家园报效祖国。1958 年 8 月，钱寿易加入力学所，任研究员。关于钱寿易入所工作的大致过程，郑哲敏回忆说："郭永怀先生和钱寿易先生都是钱学森先生亲自写信请回来的。钱寿易是国际土力学权威泰沙基的学生，取得博士学位后在美国一家著名的建筑工程公司从事土力学方面的工作，当时已经是这个领域里的知名专家了。1958 年举家回国来到力学所，不久便主持力学所第二研究室的工作。初到北京时钱学森先生还带我去拜访过他。他为我国培养爆破工程和土力学专门人才作出了突出的成绩，在城市沉降和海洋工程土力学方面有开创性贡献。"①

除了擅长和熟悉的应用力学外，钱学森还为其他新兴学科或方向物色学术带头人，质量控制专家刘源张就是他努力争取来到力学所工作的青年学者之一。1956 年 8 月，刘源张由日本回到天津，打算去刚刚成立的长春第一汽车厂工作。获悉刘源张回国，钱学森立马致函刘源张，邀请他参加力学所新建的运筹学研究组的工作。信件内容如下：②

刘源张先生：

昨天才听到力学研究所的林同骥先生说您已经回到了祖国，让我们表示对您的欢迎！

我们也要表示欢迎您到力学研究所来工作，因为据林同骥先生介绍，您的专门学识是对我们的"运用学"(Operations Research)组一定能起很大的作用的。现在在北京清华大学已经开办了运用学专业，今年招了 30 名一年级学生，再过两年就要开始教授运用学方面的专门课程。这个教学任务也要力学研究所的运用学组来负担。当然，运用学组此外还要进行这方面的多个研究问题，所以我们极希望您能来所参加这个工作。

力学研究所运用学组现在高级研究人员很少，少到只有一个人，他就是许国志先生(许先生在今年五月份的科学通报有一篇介绍运用学的文章)，许先生是工程出身，而在美国得了数学的博士学位的人。但是我们在月内将再来一位计量经济学家(Econometrician)周华章先生，周先生是美国芝加哥大学的博士。此外运用学组只有三位大学生水平的研究人员。我们的人力是很弱小的，但是我们对运用学的发展前途有极大的信心，认为是社会主义经济必不可少的。

总之，我们极希望您能到力学研究所来工作。我们已经向中国科学院的

① 郑哲敏：《力学研究所访谈》，载胡亚东等：《中关村科学城的兴起(1953—1966)》，湖南教育出版社 2009 年版，第 126—127 页。

② 刘源张：《感恩录——我的质量生涯》，科学出版社 2011 年版，第 26 页。

干部局提出您的名字，争取您到我们这里来。我想在这一点上张斌和林同骥先生是完全支持的。

此致

敬礼

钱学森

1956年9月11日

收到钱学森的邀请信后，刘源张立即改变原来的打算，并利用当年国庆节假期去北京参观的机会抽空拜访了钱学森。随后，于11月19日去科学院三里河总部办理正式手续，12月初来到力学所运筹学组任副研究员，开展质量管理研究。他在自传中写道："回国来能干质量管理，也全仗了钱学森先生的一封信"。他还忆及初次见到钱学森的情形："我第一次见所长时，是1956年国庆节过后的一天，他说欢迎我到力学所来。然后就是分配房子、分配家具这些事情。转眼过了春节，就正式上班了。钱学森所长找我谈话，询问了我的专业情况，听取了我的工作设想，当场指示要我开始筹建一个研究小组。那时，离别祖国15年，我的中国话变得生疏，而且社会主义新中国的许多新词我还不大懂，所以在向他汇报时，就脱口而出说了英文词 quality control（以下简称 QC），他马上就说：'质量控制'。那以后我就把我干的行业叫做质量控制了。因此，我说这个名字不是我起的，应该说是钱先生定下的"。[①]言谈之间，处处表露出钱学森对青年学者刘源张的爱护和提携。

鉴于钱学森的学术影响和人格魅力，当时有许多学者希望到力学所工作，但钱学森从不挖墙脚，吸收的都是"海龟"，力学所先后有18位从国外回来的科学家。除了积极动员、吸收海外归国人才外，钱学森还不遗余力，细致挑选，精心培育优秀后备人才。王礼立从北京钢铁学院金属工艺系压力加工专业毕业后，学校准备留他读研究生。这时，他的同班同学刘汝滨向他转达李敏华的邀请，希望他到力学所看看。王礼立回忆说，他一到力学所，"李先生就热情地接见我，介绍塑性力学的发展；特别告诉我，塑性力学正是要从力学和金属学两方面结合起来发展，我学过的这两方面知识都有用；并表示我可以一边工作、一边在她的亲自指导下像研究生一样地学习。""李先生又立即带我去见钱学森所长。用现在青年人的时髦语言说，钱先生是我们那时的'伟大偶像'。我被他对青年人的关心和热忱欢迎所深深感动。当天我回系里说明情况后，毫不犹豫地就到力学所去报到了。事后才知道，为了支持钱先生创建力学所，中国科学院提供了各种有利条件，包括在物色人才上可以点名要当年的优秀大学毕业生等。刘汝滨和我是由我们在北京钢铁学院的老师刘叔仪先生、王美英先生和潘

① 刘源张：《感恩录——我的质量生涯》，科学出版社2011年版，第2页。

立宙先生等推荐，经负责协助钱先生建所的朱兆祥先生指名要去的。”“对我来说，1956年之夏真正是一片金色，而李先生是引领我走上力学人生的开门恩师。”①王礼立进入力学所后，一边工作，一边成为李敏华的研究生。此外，弹性力学组的钟万勰、化学流体组的谈庆明等大学毕业生，也都是钱学森这样点名挑选而来的。

为了指导年轻研究人员，力学所规定研究实习员参照研究生培养要求，选择导师、制定学习计划，允许每个人在工作时间到高校进修两门课程。钱学森等高级研究人员还在所内给青年人员授课。另外，力学所还将招收研究生作为培养新生研究力量的重要途径，建所当年就着手培养研究生。力学所1956年度研究生招生专业、导师和录取情况见以下两表。

力学研究所1956年度研究生招生专业和导师一览表

研究生专业	导　师	研究生专业	导　师
物理力学 电磁流体力学 化学流体力学 控制论	钱学森	塑性力学	钱伟长、李敏华
气体力学(注重稀薄气体)	林同骥	弹性力学	钱伟长、郑哲敏
流体力学		运用学	钱学森、许国志

资料来源：张藜：《中国科学院教育发展史》，科学出版社2009年版，第350—353页。

力学研究所1956年度研究生招收情况一览表

学术导师	专　业	研　究　生	备　注
钱学森	物理力学	范良藻	
钱学森	电磁流体力学	张厚玫　康寿万　陈致英	
钱学森	化学流体力学	李峻宇　陈海韬	陈海韬延期报到
林同骥	气体力学	陆志芳	
钱伟长	弹性力学	王震鸣　刘曦　郑铨	
钱伟长　郑哲敏	弹性力学	潘立宙　刘世宁	
钱伟长	流体力学	俞鸿儒　程贯一　刘慈群	程贯一带职学习
钱伟长　李敏华	弹性力学	薛大为　范元勋　韩良弼　何竹修	
钱学森　许国志	运用学	吴沧浦	
许国志	运用学	王毓云	

资料来源：《中国科学院1956年研究生统计表》，《中国科学院年报(1956)》，1957年，第329页。

① 王礼立：《李先生引领我走上力学人生》，载李和娣主编：《固体力学进展及应用——庆贺李敏华院士90华诞文集》，科学出版社2007年版，第351—355页。

从以上两份表格可以看出，除了在气体力学、弹性力学等传统学科招生外，钱学森还在物理力学、电磁流体力学、化学流体力学和运筹学等新兴学科招生，是力学所招收专业最多的导师。这些专业录取的学生成为这些新兴学科在中国的首批研究生。据统计，1956—1957 年间，力学所共招收了 23 名研究生。另外，李敏华、郑哲敏、程世祜、胡海昌等在清华大学、北京大学开设"塑性力学"等 11 门课程，指导了 49 名研究生的毕业论文。①除了在力学所，钱学森还在 1956 年成立的"自动化及远距离操作研究所筹委会"以"工程控制论"专业的名义招收了 3 名研究生。②

经过钱学森等人的精心安排和组织实施，力学所在各个学科方向上初步搭建起由不同层次研究人员组成的研究梯队，为这些新兴技术科学在中国的植根和发展奠定了人才基础。

第四节 研究工作的开展

学科布局奠定以后，力学所研究人员围绕用技术科学改造中国工业的目标，心无旁骛地辛勤工作起来，在各个学科方向稳步推进。在研究工作的定位上，钱学森"十分强调研究工作要结合国家需要"，"说做研究工作要联系实际，要从基本的科学问题出发，要透彻掌握前人已有的知识，要重视实验观察和实验验证，不能空来空去。"③为此，他要求加强基础理论的学习，开展实验室等研究设施的建设，强调实验工作的第一性。其次，他和郭永怀"对高级研究人员要求特别严格，在学术讨论上对他们的工作有更严格的要求，甚至会受到严肃的批评；提倡要干'出汗'的工作，要理论联系实际，批评无实质内容、花花哨哨和'数学游戏式'的工作；强调团队精神，合作精神"。④再次，他们要求开展广泛的学术讨论，提倡不同学术观点之间的交锋和争论。另外，钱学森还强调计划性，要求各个研究组制定年度计划，"每个年度都要有一个计划，目的是让每个研究组想一想，这一年你要做什么事，能做到什么程度，需要什么条件"。⑤

4.1 指导研究工作的开展

钱学森认为，专深的研究应建立在广博的知识基础上。1956 年，钱学森在力

① 杨丫男：《中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作(1956—1966 年)》，中国科学技术大学硕士学位论文，2009 年，第 11 页。

② 《中国科学院 1956 年研究生统计表》，《中国科学院年报(1956)》，1957 年，第 333 页。

③⑤ 郑哲敏：《力学研究所访谈》，载胡亚东等：《中关村科学城的兴起(1953—1966)》，湖南教育出版社 2009 年版，第 122—123 页。

④ 郑哲敏：《钱学森的技术科学思想与力学所的建设和发展》，《力学进展》2006 年第 1 期。

学所第一次茶话会上做了“热力学第二定律——什么是熵”的学术报告。事后,他在解释为什么选择这个题目时,说有些中国研究人员对吸收新知识持有一种十分功利的心态,只对自己专业有关的感兴趣,久而久之,视野就会越来越窄,不利于将来向专深方向发展。①为了拓宽全所高、中、初级研究人员的视野,活跃学术气氛,集思广益推动学术研究,钱学森、郭永怀建立每周一次的“高级科普”学术研讨会制度,举办学术报告会。钱学森和其他高研发表文章拿到稿费后,都会主动抽出一部分钱交给林鸿荪,由他统一管理和置备学术研讨会的茶点。“钱学森工资比较高,一个月 300 多元,他拿出钱来,让把北京市最好的糕点买来,然后开每周一次的讨论会,他请全国第一流的专家来作报告,包括工业领域的专家。”②在他们的组织下,学术讨论会很快成为力学所重要的学术活动,其主要目的是通过文献报告或研究成果报告的形式,使参与讨论的研究人员掌握某门科学已有的成果,并知晓今后的发展方向。建所之初,先后组织过抗震报告会、高温及常温塑性报告会、叶栅讨论会、机翼理论讨论会、物理力学学术讨论会等。讨论会对培养和训练初级研究人员起到了相当大的作用,许多青年研究人员通过这种方式了解研究方法、学科发展趋势,进而走上科研道路。王礼立回忆说:“讨论各抒己见,非常活跃,充满着探索求新的勃勃生机。对于我们年轻人,尤其是一种科学治学精神和方法的极好熏陶。不只是扩展知识面(我在五十年代就有了关于运筹学、自动化、控制论、计算机等方面的知识,都是先从这样的研讨会上获得的),更重要的是从研讨会上慢慢懂得如何正确提出问题,如何把握关键……如何在讨论中抓住问题的本质和核心进行提问……现在回想起来,这些都是做学问的基本功!”③

讨论会的内容十分广泛,既有反映学术前沿和跨学科发展的,也有结合工程应用的。报告人既有从外单位请来的,也有本所的;既有著名专家,也有刚从国外归来的中青年学者或在读的研究生。“这个讨论会上,专门挑问题,越讨论越明,社会需求怎么样,工业需求怎么样,我们科学是不是到了可以解决这个问题的地步。”谈庆明说,“这个会没有大没有小,谁都可以发言。”④钱学森经常为大家做学术报告,或传授做研究的经验和方法,或介绍科技新热点。1959 年苏联成功发射了第一枚到月球的宇宙火箭,全世界为之轰动。钱学森第一时间给全所人员做有关报告——一个既站在科技前沿又深入浅出的学术报告,让原来不搞航天的人也兴趣盎然,进而去查阅有关文献。塑性力学专业研究生樊蔚勋曾在南昌飞机厂做技术

---

① 李毓昌:《钱学森先生的办所理念和领导风格》,载李家春、樊菁主编:《钱学森——在创建力学所的日子里》,科学出版社 2011 年版,第 98—110 页。

②④ 王卉、张巧玲、潘希:《从物理力学起落看钱学森学术思想》,《科学时报》2009 年 11 月 12 日。

③ 王礼立:《回忆钱学森老所长二三事(之一)》,http://blog.sciencenet.cn/u/llwangch。

工作，报考力学所研究生时递交过论文“略论飞机静力试验”，总结了他在飞机厂两次参加、两次主持完成，共4次飞机静力试验的技术经验和体会。钱学森知道后很高兴，安排他在力学所“高级科普”讲座上就飞机工程技术经验做了一次报告。樊蔚勋“开场白”说：“各位先生都是力学工作者，我今天介绍一下工厂里的力学工作者是怎样工作的”。主持讲座的钱学森立即站起来，插话纠正说：“樊蔚勋提法不对，是强度工程师，不是力学工作者。”[①]初听起来虽有些尖锐刺耳，但反映出钱学森既重视力学理论联系工程实际，又在学术问题上坦率求真、直截了当的学风。当然，学术讨论并不限于学术讨论会，在力学所经常能看到研究人员之间为探求真理而进行热烈的讨论。而且，钱学森特别要求每个研究室、办公室里都要有一块黑板，以便研究人员随时在黑板面前写写画画，讨论、交流、切磋学术问题。

钱学森积极推动不同学科之间的合作，以开阔思路，促进技术科学发展。当时，他洞察到不同学科之间的交叉与融合对工程技术的巨大促进作用，意识到只有深入开展学科交叉，扩大与国防部门、产业部门、高教部门的联系，才能使技术科学获得长足进步，并更加有效地推动工程技术的发展。为此，他要求大家加强与相邻学科的联系，有意识地关注和促进学科交叉与融合。郑哲敏回忆说：“钱学森先生的兴趣和视野非常广阔，在学术上和科学院其他所的联系很多。比如他对生物很有兴趣，认为会有很好的发展前景，所以跟贝时璋关系很好，常常和他交流。另外因为我们所搞化学流体力学，他对怎么样把化学流体力学运用到工业里面去一向都很有兴趣，所以跟化冶所所长叶渚沛来往也挺多。他很支持叶渚沛的一些主张。我记得他亲自分析过冶金炉顶部吹氧的问题。他跟郭慕孙也经常有讨论，所以化学流体组组长林鸿荪后来跟郭慕孙进行了协作。他请在加州理工学院时期就和他在一块儿的傅承义先生来作报告，帮助我们开展抗震方面的工作。”[②]生物物理学家贝时璋向来主张学科交叉和融合，1959年在生物物理所组建了由他直接指导的生物物理理论研究组，以生物控制论为研究方向，任务是为生物物理所的发展当“侦察兵”，探索生物物理学的生长点。这一点与钱学森不谋而合，“他们见面时，或一道参加一些科学会议时，都会谈论起涉及学科交叉的问题。钱学森还曾到生物物理所参加讨论生物物理学问题的讨论会”。[③]地球物理所的傅承义是地震研究专家，1956年曾应邀在力学所做了三次有关地震的学术报告。

---

① 樊蔚勋：《解读“钱学森之问”——从培养杰出科学技术发明创造人才谈起》，《南京航空航天大学学报（社会科学版）》2011年第1期。

② 郑哲敏：《力学研究所访谈》，载胡亚东等：《中关村科学城的兴起（1953—1966）》，湖南教育出版社2009年版，第122页。

③ 王谷岩：《贝时璋传》，科学出版社2010年版，第166页。

钱学森和郭永怀非常重视科研选题，注意引导研究人员选择既有重要应用价值、又处于学科发展前沿的问题作为研究课题。例如，他们都非常关心我国内陆地区的发展，认为那些地方的“水和矿藏资源的开发大都需要爆破”，因而成立了爆破组，邀请国内爆破专家冯叔瑜等来力学所做报告。郭永怀还从1958年开始介入国防科研，“研究拟议中三峡大坝的抗爆炸问题。这个问题关系到大坝建设的决策”。[①]1959年12月，国家在三峡工程防护领导小组下面成立防空大组，由国家科委召集相关单位的科学家和专家组成，负责“751”工程试验组研究方向和任务规划，郭永怀任防空大组负责人。[②]力学所是这项重大防护工程任务的参与单位之一，为此组建了一个专门小组开展这方面的研究。

钱学森历来强调技术科学研究人员与工程技术部门的联系，并按此原则制定研究计划，调配人员，有意识地让研究人员接近工程设计，一方面让研究人员学习工程实际知识，扩大对工程设计的了解；另一方面了解工程设计人员对技术科学的真正需求，使技术科学工作更加贴近工程技术的发展。为了增进研究人员对工程实际知识的掌握，力学所资料室订阅了几十份与工程技术有关的杂志。有一次，力学所借住的化学楼的烟囱出了问题，钱学森要求流体力学研究室的青年研究人员去实地考查，并找出原因，解决问题。[③]

作为力学所的主要学术领导人，郭永怀努力探索应用力学发展的新方向和新途径。高超声速空气动力学是郭永怀研究的主要学术领域之一，而激波管、激波风洞是高超声速空气动力学研究的重要实验设备。回国前，郭永怀在康奈尔大学航空研究院工作，那里正好是激波管研究中心，他借此得以熟悉激波管的性能和用途，了解到激波管结构简单、造价低，实验时间短而耗能少，回国时带回了许多激波管方面的资料。高性能、大尺寸、高超声速风洞建设费用十分昂贵，运转所需的能源又很浩大，而发展激波管相对投资省又节能，比较适合我国国情。当时，郭永怀认为“这一方面的技术目前正在发展，前途是无限的”，力主发展激波管试验技术。1957年秋，在苏联第一颗人造地球卫星上天之际，郭永怀指导研究生俞鸿儒学习美国康奈尔大学航空实验室新近出版的激波管资料，将他的论文范围定为“激波管应用于高超声速流研究”，还语重心长地说：“我们亦将研制航天飞行器，为此高超声速流实验是必不可少的。我国资金电力均不足，不可能走美国依靠常规加热高

① 郑哲敏：《力学研究所访谈》，载胡亚东等：《中关村科学城的兴起(1953—1966)》，湖南教育出版社2009年版，第122—124页。

② 周丰峻：《胸怀长江长城　心系国家安危——纪念我国核防护工程奠基人郭永怀先生》，载郑哲敏主编：《郭永怀先生诞辰九十周年纪念文集》，气象出版社1999年版，第19—20页。

③ 樊蔚勋：《解读“钱学森之问”——从培养杰出科学技术发明创造人才谈起》，《南京航空航天大学学报(社会科学版)》2011年第1期。

超声速风洞的道路。即便有了这种大型风洞，由于受材料性能的限制，所能达到的气体加热温度极限仍不能满足回地环境模拟的要求。我们应尽早探索新途径，利用激波加热可能是一种有前途的办法。当前开展这项研究的条件很差，工作难度又大，你尽力去干吧！如果能在十年内获得成功，对我国航天事业将是非常有用的。"[①]1958年2月，郭永怀把研究生陈致英、范良藻（物理力学）、俞鸿儒（流体力学）和张德华、何永年（北大力学专业毕业）五人召集在一起，宣布成立激波管研究组，指定俞鸿儒为组长。[②]后来，郭永怀一直重视并负责激波管与激波风洞这两项重要实验设备的研制工作。

与常规高速风洞相比，通常高速风洞在几秒或几分钟内取得的数据，激波风洞则必须要求在千分之几秒的瞬间获得定常试验气流并将数据采集和记录下来，所以发展激波管技术是一项难度极大的工作，需要进行大量的探索性研究。虽然如此，俞鸿儒等人还是坚定地接受了这项艰巨任务。1958年7月，在"大跃进"运动高潮阶段建成我国第一台激波管。随后，他们开始直通型激波风洞（JF-4）的设计。1958年12月，激波管组全组人员被抽调去支援超声速风洞建设，1959年12月又撤回，继续激波管的研制。在郭永怀、林同骥的指导以及全组人员的共同努力下，1960年初开始安装JF-4直通型激波风洞，1962年建成。紧接着，1964年又研制成功JF-4A发射型激波风洞。四年后，性能参数达到国际水平的JF8激波风洞在力学所诞生。他们终于将郭永怀生前的设想化为现实，使力学所成为我国激波管、激波风洞技术研究的重要基地。力学所的激波风洞至今仍是高速气动力与气动热研究的主力风洞，为我国返回式卫星、战略导弹的研制提供了理论指导和关键数据，作出了极为重要的贡献，并为国内建设同类实验设备提供了技术和经验。

对于全所的研究人员，钱学森、郭永怀尊重他们的意愿和兴趣，支持他们的研究工作。建所之初，各学科组的工作内容主要是为日后的研究工作做准备，培养研究队伍，还谈不上开展深入的研究工作。如力学所在1956年度工作总结中写道："建所工作在1956年获得了一定的进展，主要表现在已经初步明确了所的发展规模和方向，从1956年起开始试图解决一些具有重要实际意义的研究，并开辟一些新的方向，扩大了所和国防部门、产业部门、高教部门的联系，所内的研究工作和科学的行政工作的组织已经初步建立，在培养干部工作上面，取得了进一步的经验。"

---

① 俞鸿儒：《脉冲风洞及其他设计决策》，载科学时报社编：《请历史记住他们——中国科学家与"两弹一星"》，暨南大学出版社1999年版，第189—194页。

② 俞鸿儒：《郭先生引导我做实验》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学所，2009年，第31—35页。

至于工作上的不足,主要表现在:一是研究计划的完成程度不够好;二是实验室的建设工作尚未具体开展。[①]在具体的学科建设方面,除了物理力学,化学流体力学与运筹学是钱学森抱有很高期望的学科,为此他投入很多精力去推动这两门学科在力学所的孕育和成长。

4.2 推动化学流体力学的发展

钱学森认为,一般的化工反应器中的反应过程大多是低速反应。而从力学角度看,火箭发动机是一种高强度的化工反应器,如果将流体力学方法应用于化工、冶金等过程的研究,将会大幅度提高生产效率,如果将冲击波巧妙地应用于化工反应将会出现超高速反应。谈庆明在与郑哲敏一起整理钱学森手稿时,发现钱学森在这些问题上的认识非常深刻和清楚,他说:"从火车头到飞机,到火箭,到导弹,他的思想完全是统一的,发动机和化学反应器与冶金炉本质上是一回事,完全可以连续作业和自动控制,也慢慢明白了那时钱学森先生为什么提出我们要改造整个化学工业、冶金工业。"[②]这就是钱学森创建化学流体力学的服务目标和基本思路,他主张同化工和冶金部门一起来研究,将流体力学与化学反应机制相结合,目的是为了改造化工和冶金工业。

林鸿荪是一位应用数学家,化学、化工和流体力学的基础也很扎实,还与钱伟长、胡海昌等人合作在弹性力学上取得了出色的研究成果,再加上思维敏锐,富有开拓精神,具备开拓新的研究方向的科学素养和条件。鉴于此,钱学森认为林鸿荪能胜任发展化学流体力学的重任。力学所成立之初,林鸿荪被安排在塑性力学组,但同时受钱学森的委托开辟一门新学科——化学流体力学。林鸿荪接受任务以后,立即投身这一开创性工作,搜集国内外有关文献资料,希望将空气动力学、化学反应动力学、应用数学等学科已有的成就综合起来,建设这门崭新的学科。1956年秋,力学所成立化学流体力学组,林鸿荪任组长,积极探索新的学科生长点。他仅仅用了半年时间,就提出若干个紧密联系实际的研究方向,包括固定床、固体流态化、冲压发动机的稳定燃烧问题、转炉顶吹氧气炼钢的流体力学问题等,其中把在化工、冶金工业中有着广泛应用前景的固体流态化作为近期主攻方向,以服务改造冶金工业的目标。化学反应器一般可分为固定床、移动床和流化床(沸腾床)。在流化床中,固体颗粒层像沸腾的液体,所以又称"沸腾床"。由于工作的固体物的颗粒比较小,且在流体作用下处于剧烈运动的状态,对于许多化学反应(如焙烧、催

---

① 《力学研究所1956年工作总结及存在的问题》,中国科学院档案馆。

② 王卉、张巧玲、潘希:《从物理力学起落看钱学森学术思想》,《科学时报》2009年11月12日。

化、催化裂化等）和化工过程（如干燥、吸附等）的进行比较有利。当时，这项研究属于前瞻性课题，即使在美国也是处于起步阶段。如今，它已发展为成熟的技术，广泛应用于固体燃料的燃烧、煤炭的气化与焦化、固体物料的输送、化工生产中的气固相催化反应、物料干燥、加热与冷却、石油裂解、冶金、环保等领域，而且应用领域还在不断扩大。

为使研究工作密切联系实际，林鸿荪带领研究人员深入产业部门调查，并与产业部门的研究机构分工合作，组织开展详尽的研究和总结。当时，化工冶金所叶渚沛所长非常推崇技术科学思想，积极倡导加强冶金技术的理论研究。他从化学流体力学角度出发，对高炉炼铁过程进行了系统的分析，提出了强化高炉过程的理论以及在生产上的一系列新技术。1957 年，他提出没有理由把化学工业同冶金工业对立起来分析，认为它们都包含着动量、热能、物质的传递以及化学过程这样四个过程，因此，“化学工程学的原理、观点和方法同样可以用在研究旧的和新的冶金过程”，而且“更多地运用化工的观点和技术来解决和研究冶金过程，必然是未来发展的方向”。出于这样的认识，他将化工冶金所的工作方向定在“用化学工程的观点和方法来改造冶炼过程及设备，不论是何种金属只要冶炼过程更适合于用化工的方法和技术来研究，都应该属于我所的任务范围”。[①]1958 年化工冶金所成立后，按照叶渚沛确定的原则选择研究课题，开展了大量的研究工作，取得了多项重要成果。叶渚沛还提出，要注意研究更多的冶金过程中的理论问题，“这些研究为解决过程中的重大问题而服务，也为解决新的冶金过程中所发生的问题准备条件。”这些主张一一被后来的发展证实。化工原理和技术应用于冶金，不仅深化了人们对冶金过程的认识，而且丰富了冶金过程的理论，开发出许多新的冶金过程和技术。由于持有相近的观点，力学所与化冶所在钢铁冶炼以及多相流、移动床等研究领域开展了比较深入的合作。其间，林鸿荪与化冶所郭慕荪经常交流固体流态化方面的信息，两所共同举办“固体流态化”专题讨论班，双方对合作还作了分工：力学所以流态化机理研究为主，化冶所侧重实际冶金过程的应用研究。根据分工原则，林鸿荪对流态化实验室的建设抓得很紧。1958 年夏，在力学所新大楼建成还不到半年，流态化实验室就已初具规模，并开始试运行。[②]为了扶持流态化技术，1962 年科学院责成郭慕孙组织举办第一届全国流态化学术会议，对国内流态化技术及理论作了总结。

为了培养化学流体力学研究人员，力学所 1957 年开始招收化学流体力学专业

---

① 叶渚沛：《化工冶金所方向任务》，《化工冶金》1981 年第 3 期。

② 何鼓生、陈良：《林鸿荪》，载中国科学技术协会编：《中国科学技术专家传略》（工程技术编，力学卷 2），福建教育出版社 1997 年版，第 189—203 页。

的研究生，后来还在中国科技大学力学与力学工程系设立相应的专业。到1958年秋，化学流体力学组的研究人员由成立之初的3人发展到10人，并且开展了不少研究工作，取得了一定的进展，如在1957年2月举行的第一次全国力学学术报告会上，林鸿荪宣读了“产生热的多孔介质中的吹气冷却问题”、“固体流化的几个基本问题”等论文。另外，还和化工冶金所、大连化学物理所、化工部、石油部、冶金部等单位建立了协作关系。遗憾的是，由于“大跃进”运动的到来，力学所撤销了以学科为主线的研究室，化学流体力学这个研究方向也就没能坚持做下去。不过，林鸿荪继续在中国科技大学讲授这方面的课程，培养学生。后来，林鸿荪在力学所怀柔基地负责氢氧火箭发动机研制过程中特别重视燃烧问题的研究，将它作为化学流体力学的一个重要方向来对待。

4.3 推动运筹学的发展

钱学森在加州理工学院喷气推进实验室工作时就开始关注运筹学的发展。二战结束时，他在分析V-2导弹发射效果过程中意识到运筹学在新式武器使用中的重要应用价值。1954年，在郑哲敏即将离美回国之前，钱学森叮嘱他说：“你回国后，要做两件事情：一件是运筹学，希望你和清华大学钱伟长教授说一说。这个学科美国也刚刚开始研究。我想，一个社会主义国家，在如何进行科学管理，加强计划性方面，运筹学会起重要作用。另一件是要讲力学对发展国民经济的重要作用……要向有关方面，特别是领导、管理部门宣传，引起关注。要使科学技术尽快为生产服务。”[①]回国后，钱学森大力提倡和支持运筹学的发展，除了更好地为社会主义建设服务外，与他主张推进社会科学特别是政治经济学精密化的想法有关。当时，他明确提出：“通过了运用学把数学方法引用到社会科学各部门中去，我们就能把社会科学中的某些问题更精密地、更具体地解决”。[②]

在归国的邮轮上，钱学森结识研究应用数学的许国志，劝说他转向运筹学的研究和应用。力学所成立后，设立了由许国志主持的运筹学研究组，后来又在钱学森的建议下扩大为研究室。钱学森认为，研究运筹学这门技术科学应该包括三大部分的人员，即数学家、经济学家和电子计算机专家。按照这种想法，他积极引进质量控制专家刘源张、计量经济学家周华章等人来运筹学组工作，另外还有桂湘云、寇淼、欧阳绛等青年研究人员，他们最早在中国开展运筹学研究工作。稍后，又有一些不同专业（理学、工学和社会科学）的大学毕业生如顾基发、陈锡康、李秉全等

---

① 郑哲敏：《力学研究所访谈》，载胡亚东等：《中关村科学城的兴起（1953—1966）》，湖南教育出版社2009年版，第110页。

② 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》1957年第4期。

被分配到运筹学组。钱学森还与许国志一起共同招收运筹学专业的研究生，培育新生力量。起初，运筹学组配备 9 人，在人员组成方面，许国志切实贯彻钱学森的想法，实行“三三”制，即三个数学专业出身、三个工科专业出身、三个社会科学专业出身。这样的人员构成，不仅在当时颇有新意，而且为运筹学后来的发展奠定了比较好的基础。

运筹学组在许国志主持下，积极开展运筹学普及和应用研究。许国志等人编著出版了中国第一批有关运筹学的专书和文章，介绍线性规划、非线性规划、动态规划、排队论、对策论等分支学科的内容，推动它们在国内传播和应用。1956 年 5 月，许国志在《科学通报》发表“运用学中的一些问题”一文，①在国内首次介绍运筹学这门新的技术科学的研究内容及其所使用的工具。文章说运筹学是解决实际问题的，社会主义工业建设是运筹学问题的来源，也是它的用武之地，如产品系列化、铁路车站的分等、新城市的规划、车站的设计和选择、交通系统的联系、交通工具的选择等，运筹学方法的应用将有助于这些问题的分析和解决。1958 年，运筹学组研究人员合作编写了《一门崭新的科学——运筹学》一书，简明扼要地介绍了质量控制、策略论、线性规划论、排队论等运筹学的主要分支。②

推动运筹学在国民经济中的应用是运筹学组的工作重点，他们开展了合理运输、合理配棉、合理下料、梯级水库的合理调度、产品质量控制、抽样检验及其在宏观经济管理中的应用等研究工作。1957 年，刘源张在力学所创建中国第一个质量控制研究组，融技术与管理为一体，开创了全面质量管理。为使质量控制技术迅速在国内传播，经钱学森同意，刘源张与董彦曾、邵士斌等于 1957 年 9 月在北京东郊红庙第一机械工业部的一所学校举办第一个全国性的质量控制讲习班。参加讲习班的，有来自第一机械工业部和纺织部机械局所属工厂的检查科和工艺科的工程师和技术员 40 多人。开班的当天，钱学森到班上给学员讲话，题目是“理论联系实际”。刘、董、邵三人为讲习班授课教师，他们合作编写出三大本厚厚的授课讲义。授课完成后，他们组织讲习班学员分赴上海、济南、青岛三地的工厂，试验或实习部分课程的学习内容。③另外，刘源张还在各地工厂开展试点、培训和普及工作，多次解决纺织、机械、电子等行业中的质量控制难题。1960 年，他出版专著《运筹学在纺织工业中的应用》，开我国管理科学理论联系实际之先河，产生了很大影响。运筹学在交通运输、纺织和水利等行业的推广和应用，使运筹学“幼苗”在中国大地上深深地扎下了根，还为后来系统工程的应用奠定了一定的基础。

---

① 许国志：《运用学中的一些问题》，《科学通报》1956 年第 5 期。

② 中国科学院力学所运筹学组：《一门崭新的科学——运筹学》，科学普及出版社 1958 年版。

③ 刘源张：《感恩录——我的质量生涯》，科学出版社 2011 年版，第 4 页。

另一方面，钱学森在国防部门积极推动运筹学的研究和应用。他在关于导弹的报告中，多次提出在导弹的研究、设计、制造和使用中要增加“运用学的研究”。如1956年在一次报告中说：“以前的一些武器，差不多多少年来没有什么特殊的革命性的改进，每一种武器都是小部分逐渐地改进的，我们对那种武器性能完全了解。而新式武器的性能差别很大，你如完全不注意这点，在运用时候就不能完全发挥新武器的效能。”“一种新武器的运用是很重要的，我们要注意武器本身各种性能，仔细考虑应该如何运用，所以要有这个运用问题的研究。”①1957年，钱学森在国防部五院讲授导弹使用问题时，再次强调运筹学的重要作用。他说：“导弹是一种最新型的武器，它是非常复杂的武器，使用它就必须有高度的科学技术知识。不但如此，因为导弹新，谁也没有累积多少使用它的经验；因此怎样尽量用理论分析的方法，来发现最有效的使用方法就成为一个重要的研究工作。做这部分工作，我们必须要用一门新学问：运筹学。这是一门综合近代数学成就，特别是统计数学的成就和工程技术的学问，专门研究如何发挥一定工具的效用的理论。”“我们不可以把导弹的使用问题作为一个导弹部队的问题，这里面是有艰深的科学研究工作的”。②而且，他认为运筹学不应局限于研究既有武器的使用问题，更重要的是研究未来武器的规划和使用。基于这样的认识，1950年代末国防部五院成立了我国第一个军事运筹学研究机构——作战使用研究处，开辟出将运筹学应用于未来武器规划这一新的研究方向，成为我国国防系统分析的发端。在钱学森直接指导下，他的秘书王寿云开展军事运筹学的研究，后来成为我国杰出的军事运筹学专家。

在国家的支持下，运筹学在国内的推广和应用取得了相当大的进展，但钱学森仍感不足。为了进一步宣传运筹学，扩大影响，1957年1月末的一个夜晚，钱学森领着许国志、桂湘云和刘源张去见中宣部科学处和理论宣传处于光远处长，向他汇报运筹学的工作和运筹学研究室成立的情况。③1957年6月15日，他又向科学院呈递《关于建立中国科学院运筹学研究室（所）的意见》，建议进一步扩充运筹学的研究和应用范围。在意见书中，他首先建议在1958年把力学所运筹学组扩大为力学所运筹学研究室，“以准备在1961年成立独立的中国科学院运筹学研究所。”其次，指出运筹学这门学科的功能：“运筹学的任务是研究一些一般方法，这些方法和工程理论一起可以作为解决工程技术里面的有关使用和设计问题的基础，它和社会科学一起也可以作为解决国民经济规划问题的基础。”再次，明确运筹学技术科学的学科属性：“运筹学既然是解决一些工程技术和国民经济问题的一般性理论基

---

① 凌福根编：《钱学森论火箭导弹和航空航天》，科学出版社2011年版，第160—161页。

② 钱学森：《导弹概论》，中国宇航出版社2006年版，第174页。

③ 刘源张：《感恩录——我的质量生涯》，科学出版社2011年版，第47页。

础，它自然不能代替解决这些问题的专业学科。但从另一方面看，运筹学也不等于统计数学，运筹学是应用统计数学和其他数学的方法，又依照解决问题的需要发展出来的。所以比起数学，运筹学是一门应用学科；比起解决问题的专业学科，运筹学又是一门基础学科。”因此，“运筹学是介乎基础科学和专业学科之间的一门技术科学。”为了让运筹学在工程技术、国民经济规划中发挥出更大的作用，他强调发展运筹学“必需注意如何把运筹学应用到实际问题上去”，“也必需广泛地联系各有关单位，像国家统计局、计委、经委，以及产业部门的工业研究机构”。最后，提出要加强运筹学人才的培养，逐渐在高校设置运筹学方面的专业。①

由于种种原因，除了第一条建议，其他建议基本上没有实现。不过，钱学森继续不遗余力地推动运筹学应用到国民经济规划等领域。1958 年，他与于光远在中宣部子明堂召开过一次自然科学和经济科学的联席会议，讨论在经济工作中应用数学的问题，参加会议的有孙冶方(时任统计局局长)、杨坚白(时任计委世界经济局副局长)等。②这次会议对推动数学方法应用于经济工作起到了很大的促进作用。

经过 1950 年代初的院系调整，我国工科院校中的管理类专业几乎全部撤销。在这种背景下，钱学森在力学所设立的运筹学组，不仅是中国最早开展运筹学研究的机构，还肩负着发展中国管理科学的重任。1958 年，为了适应“大跃进”运动的政治形势，科学院数学所在“理论联系实际”方针指引下，“下楼出院”，成立运筹学研究室，开展数学应用于工农业生产的研究。1960 年底，力学所运筹学研究室在国民经济调整中划分出来，与数学所运筹学研究室合并，成为中国实力最强的运筹学研究机构。1960 年代初期，数学所运筹学研究室在运筹学理论方面开展了许多研究工作，取得了突出成果。“文革”期间，彻底否定管理科学是一门科学，致使高校中有限的管理类专业彻底停办。而钱学森把运筹学定性为技术科学，这样让自然科学家与技术科学家担当起发展我国管理科学的重任。对于那个时代中国管理科学发展的特殊道路，有人评论说：“上世纪 1950 年代初，一批从西方国家回国的具有系统工程、数学、运筹学等自然科学、工程科学专业背景的科学家，如钱学森、华罗庚、许国志、刘源张院士等人，认识到管理科学对国家发展的重要性，高瞻远瞩，利用当时自然科学比社会科学相对宽松的社会环境，积极开创了我国管理科学的理论研究与实践活动。”③

---

① 《关于建立中国科学院运筹学研究室(所)的意见(1957 年 6 月 15 日)》，中国科学院档案馆。
② 许康、劳汉生：《中国管理科学历程》，河北科学技术出版社 2000 年版，第 597 页。
③ 陈晓田：《科学基金促进我国管理科学的发展》，《光明日报》2009 年 1 月 5 日。

4.4 推动塑性力学的发展

力学所塑性力学组由李敏华任组长，她是中国较早开展塑性力学研究的学者之一。李敏华 1945、1948 年先后在美国麻省理工学院获得硕士、博士学位，主要从事机械振动方面的研究。随后，在美国 NACA(NASA 前身)路易斯发动机研究中心强度研究室任研究科学家，从事塑性力学研究，进行过圆形薄膜在测压作用下考虑材料硬化的塑性应力应变分析工作，取得了重要成果。其中，关于平面问题(旋转盘)的应力分析是塑性力学理论分析与工程实际应用结合的高水平成果。此外，北大的王仁、清华的杜庆华等人也曾在国外做过塑性力学方面的研究，具有较高的学术造诣。至 1957 年秋，塑性力学组有李敏华、黄茂光、杨南生、刘德修、朱兆祥这 5 位高级研究人员，另有助理研究员 1 人、研究实习员 15 人。①

1950 年代中期，塑性力学在国内属于空白状态而又急需发展的新兴学科。为了建设这门学科，李敏华举办"塑性力学文献报告会"，作为培养人才、开展研究的重要方式。讨论会从 1956 年初开始，由李敏华主持，每周一次，历时约半年。李敏华精选出塑性力学发展史上的经典文献，与王仁、杜庆华研究讨论后，分配给讨论会参加者，分头准备，轮流做报告，介绍文献的主要内容，然后进行讨论。报告人还需把文献翻译成中文，为出版中文文集做准备。中译文献收集后，李敏华仔细审阅，并送至王仁请其复审。由于"大跃进"运动的到来，力学所撤销学科研究组，人员发生剧烈变动，使文集未能出版。参加文献报告会的，除了塑性力学组研究人员外，还有北大王仁教授，清华杜庆华教授，北京钢铁学院柯俊、张兴钤教授，科学院物理所陈能宽研究员以及来自其他高校和研究机构的人员，体现出跨力学、材料科学，宏观与微观结合的特点。②兼任副所长钱伟长有时也来参加文献报告会，李敏华还定期向钱伟长汇报。其间，李敏华还组织过"高温蠕变文献报告会"。

文献报告会是一种发挥集体智慧、高效率学习国外成果与经验的好方法，对于引导青年研究人员走上学术之路发挥了重要作用。据当年参加过报告会的研究生樊蔚勋回忆："每周一个下午报告六篇文献，每篇文献只报告：观察问题、提出问题(文献的"引言"部分)、分析问题(基本假设、主要手段)、解决问题(文献的"结论"部分)。每篇的报告、讨论总共只有 20 多分钟，可以说已经是宏观的了。这还不够，笔者的副导师李敏华院士看到笔者所提出问题往往从小处着眼，多次教导笔者说，

---

① 刘正常：《庆贺与回忆》，载李和娣主编：《固体力学进展及应用——庆贺李敏华院士 90 华诞文集》，科学出版社 2007 年版，第 346—350 页。

② 王礼立：《李先生引领我走上力学人生》，载李和娣主编：《固体力学进展及应用——庆贺李敏华院士 90 华诞文集》，科学出版社 2007 年版，第 351—355 页。

每读完一篇文献，还要把文献放在远处看一看（高瞻远瞩，看问题要微观与宏观相结合）。我们不仅要学习前人发明创造出来的知识，而且要钻研领会人类在发明创造知识过程中的智慧。不仅是要领会每篇文献的智慧，更重要的是要领会作为学科发展里程碑的几篇文献、特别是作为学科开山鼻祖的首篇文献的前人智慧。我们还要高高站在学科现有发展之上，俯视检阅其脉络走向，并海阔天空地设想其将来可能发展。"[①]王礼立回忆说："李先生安排我参加文献调查和报告会，从实践中我逐渐领悟到，深入的文献调研是开展一项新的科学研究的第一步；并逐步学会了如何查文献、如何跟踪文献、如何阅读文献、如何做文献卡片以及如何挑选重要文献等等。李先生还指定了一篇英文文献安排我在文献报告会上报告。让我阅读后先向她报告，教我如何报告文献内容，要客观地介绍作者的主要论点及创新点等，不能添油加醋，更不能夹杂自己主观意见；另一方面，又必须提出自己对文献的评述意见，但作者的和自己的必须分清，不能混为一谈。这些都是做研究必须具备的科学态度和基本功。"[②]可见，报告会能帮助青年研究人员了解各个学术分支的来源、发展过程及前沿问题，指引研究方向，引导大家逐步走上研究道路，让大家"起初是一头雾水，渐渐地入门"。

李敏华非常重视青年研究人员的培养，为此花费了很多心思和精力，"每位年轻人分配到来，都亲自谈话，了解业务基础、兴趣爱好等情况，安排工作方向，并请一位先生负责指导。工作上要求严格；生活上细致关心。"据王立礼回忆，为了帮助青年人员快速成长，她"对于我们这些刚毕业工作的青年人，为每个人指定了一个导师。例如叶钧道和刘汝滨由杨南生先生指导，柯受全由朱兆祥先生指导，而刘正常和我由李先生自己指导等"。除了让大家通过研究实践提高外，"还制定计划，让我们通过'自学—报告—讨论'等方式进行基本理论的集体学习。我们的学习计划与塑性力学研究生的培养计划基本相同。"除了参加"塑性力学文献报告会"外，针对不同人员的学科背景，李敏华要求大家结合研究课题系统地学习数学、物理等与力学有关的理论。刘正常回忆说："她首先设法使年轻人具备研究弹性力学必要的基础知识，如固体力学、应用数学、试验技术等。例如，1955 年我报到之后，她就安排我去北大数学力学系旁听了胡海昌先生讲授的高等材料力学，叶开沅先生讲授的弹性力学。期末，还请两位先生出题进行考试。1956 年秋至 1957 年夏，塑性组全体年轻人都旁听了钱伟长先生在力学班（力学所和清华大学合办）讲授的弹性力

---

① 樊蔚勋：《解读"钱学森之问"——从培养杰出科学技术发明创造人才谈起》，《南京航空航天大学学报（社会科学版）》2011 年第 1 期。

② 王礼立：《李先生引领我走上力学人生》，载李和娣主编：《固体力学进展及应用——庆贺李敏华院士 90 华诞文集》，科学出版社 2007 年版，第 351—355 页。

学和计算数学。此外,经常指定或推荐某些书籍或文献。"[①]另据王礼立回忆:"李先生安排我们去听钱伟长先生为研究生开设的'应用数学'课。又请黄茂光先生指导我们学习弹性力学。对于我们这些工科专业毕业的青年人,原来只学过理论力学和材料力学,选了较易入门的 Timoshenko 的《弹性力学》英文原版为主教材,而以更深入的 Love 的《弹性力学数学理论》为参考书,组织我们各自自学钻研,再按章节分别轮流报告,由黄先生把关对重点和基本概念进行讨论。这样的学习远比一般的课堂教学深刻扎实得多,而且提高了自学能力。"

关于塑性力学的学习,李敏华选定两本英文著作供大家自学,一本是 A.Nadai 的《固体的变形和断裂理论》,另一本是 R.Hill 的《塑性力学数学理论》。另外,还有一本适合作为入门书自学的 O.Hoff 和 G.sacks 的《工程师用塑性理论初步》。对于这样的精心安排,王礼立很有感触地说:"从李先生为我们选择的书目,我感受到李先生一直重视力学的物理方面和数学方面的结合,理论和工程的结合"。当时,李敏华在清华大学工程力学研究班讲授"塑性力学"课程。她利用这个机会让王礼立跟着她去上课,并做一些力所能及的辅助工作,以至于王礼立从内心感受到李敏华先生对他的培养和期望。[②]对于李敏华对大家查阅文献能力的培养,刘正常回忆说:"针对如何结合工作选择文献、如何掌握文献的要点、如何从文献中得到启发以及如何利用文献中的理论计算或实验数据等问题,李先生常常详细讲解,言传身教。"[③]

在学术取向上,钱学森和李敏华希望把宏观力学与微观塑性机理结合起来,以推动塑性力学(包括高温蠕变力学)向前发展,尤其是结合工业发展需要开展研究。同时,李敏华十分重视实验工作。1955 年,她与清华大学材料实验室合作,派齐景泰到该实验室工作。1957 年底,力学所搬入新建成的大楼以后,李敏华便立即着手筹建实验室。对于这段历史,王礼立回忆说:"李先生是一位理论和实验并重的力学家。在组织'高温蠕变文献报告会'的同时,李先生就开始考虑筹建'高速旋转转盘实验室',并安排给我相应的调研和建立实验室的任务。""1957 年年底,力学所搬入新建成的大楼,旁边有一座小楼叫'弹试楼',楼里有一间高速旋转盘实验室,那就是按此图纸的要求建造的。"[④]到 1960 年代初,固体力学实验室和蠕变实验室相继建成,李敏华带领青年研究人员开展各种实验,培养实验工作能力。

---

①③ 刘正常:《庆贺与回忆》,载李和娣主编:《固体力学进展及应用——庆贺李敏华院士 90 华诞文集》,科学出版社 2007 年版,第 346—350 页。

②④ 王礼立:《李先生引领我走上力学人生》,载李和娣主编:《固体力学进展及应用——庆贺李敏华院士 90 华诞文集》,科学出版社 2007 年版,第 351—355 页。

4.5　建所初期的工作成绩

在紧张而高效的筹建时期，力学所扩充建筑、建设实验设施、举办学术活动、出版学术刊物，工作逐渐步入正轨。其间，还见缝插针地开展了一些研究工作，各学科带头人坚持理论与工程结合、理论与实验并重，研究课题大多结合生产需要，既有高深的理论研究也有明确的应用背景。1956—1957 年，力学所在弹性、塑性、流体、化学流体、物理力学及运筹学方面制定了 34 项研究课题，其中 18 项基本按照计划完成，其余 16 项未能按照计划完成，主要原因有二：一是部分项目牵涉到实验，而力学所原本没有实验室，这些研究课题受到实验室建设进度的影响；二是 1957 年的“整风”、“反右”运动占去了半年左右的时间，使科研活动无法正常开展。还有一些研究人员被错划为“右派”，被迫离开工作岗位，也给科研工作造成了负面影响。①总的来看，在建所之后的两年时间里完成的重要工作有：②

弹性力学组在郑哲敏带领下，研究水坝抗震问题。因为大型水工结构在建造中，必须考虑如何避免结构本身的固有频率与地震频率相同或很接近的情况下所引起的“共震”，这种共震足以使整个结构崩坏。如何掌握各个地区的地震规律，设计可以避免共震的结构是大型水工结构以及各种重要工厂建设中的新课题。这项研究课题针对刘家峡水坝等经济建设中的重大工程问题，得到的重要结果有：“考虑了如何用振谱分析来表示地震时地面运动的特征，计算出地震时水作用于坝的压力，计算出悬壁梁在一侧受到液体作用时的振动频率，以估计水对于坝体自振频率的影响。”在弹性动力学方面(主要是研究震动的理论)，“提出了倒易性定理的应用和有关弹性体固有频率的两个变分原理，完成了具有集中载荷斜劈的应力分布的计算，提出了关于弹塑性混合体的一类变分原理及其应用”。

高温金属塑性理论是塑性力学组的工作重点。该组进行了塑性应力应变关系理论和实验方面的文献总结。并“利用有关三七黄铜的实验数据，讨论了在小弹塑性范围内关于应力应变关系现有理论的适用性问题，研究了材料硬化特性曲线对于塑性平面变力问题的影响。”

流体力学组在旋转机械(主要是蒸汽涡轮和燃气涡轮)空气动力学方面，提出了一种新的计算曲线叶栅的方法。在亚声速飞行器减阻问题上，对于喷气及吸气的茹科夫斯基机翼截面和平板叶栅作了计算。在高超声速方面，对于绕尖头回转

---

① 杨丫男：《中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作(1956—1966 年)》，中国科学技术大学硕士学位论文，2009 年，第 10 页。

② 《中国科学院力学研究所概况》，中国科学院档案馆，案卷号：A011—020；《数学物理学化学部关于 1958 年研究计划的报告》，《中国科学院年报(1958)》，1959 年，第 163—169 页。

体(如火箭本体的头部)和绕尖劈的高超声速流动得到了一级近似解;在湍流方面进行各向同性的湍流后期变化规律的研究;为了配合水利建设进行了河流中挟有泥沙问题的计算,得到了半经验的计算方法。

化学流体力学组开展了产生热的多孔介质中气流稳定性等课题的研究。

运筹学组取得的成果主要有:把列车编组问题化为一个线性规划问题来处理,求得了一套计算方法;协助铁道科学院分析 1955 年东北地区工业用煤的运输流量与流向问题,得出了有实际意义的结果;在二阶规划方面,用最小距离的概念得到了一个系统性的计算方法。另外,线性规划在工业生产中的运用和质量控制方面也取得了显著成果。

在开展上述研究工作的同时,力学所积极筹建实验室。1956 年开始筹备振动、光弹性、一般塑性、蠕变、高温塑性、风洞和流态化实验室。到 1957 年,振动实验室、高温塑性实验室、常温塑性实验室以及亚声速风洞实验室初步建成,但由于有实验经验的研究人员和熟练的技术工人不足、实验需要的仪器和材料不够以及向国内外订购的仪器设备不能及时到货等原因,其他实验室建设的进度比较缓慢。[①]经过努力,到 1958 年力学所建成了热应力、振动、光弹性、一般塑性、蠕变、低速风洞、激波管、超声速风洞(完成设计,正进入施工阶段)、流态化等实验室,拥有 50 吨万能试验机、30 吨复合应力试验机、蠕变试验机、振动试验设备、光弹性试验设备等设备。另外,低速风洞(M=0.2,基本建成即可投入试车)和高速风洞(M=2)已进入施工阶段,还积极筹建激波管等实验室。[②]

与快速发展的研究工作相适应,力学所研究人员和技术人员的数量也有了大幅度的增加(见下表)。

1955—1957 年力学所研究人员数量变化情况表

	研究员	副研究员	助理研究员	研究实习员	研究生
1955 年底	1	5	2	6	
1956 年底	4	2	2	29	2
1957 年底	5	13	2	72	23

资料来源:中国科学院力学研究所概况.中国科学院档案馆,档案号:A011-020.

作为国家科学院的研究机构,力学所还对全国力学学科的建设和发展负有指导、联络和交流的功能。为此,力学所积极开展与其他研究单位、高校和生产单位

① 杨丫男:《中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作(1956—1966 年)》,中国科学技术大学硕士学位论文,2009 年,第 10 页。

② 《中国科学院力学研究所概况》,中国科学院档案馆,案卷号:A011—020。

的学术联系与合作，开展的工作主要有：一、举办学术讨论会，邀请其他单位参加。如参加叶栅讨论会的有北航、北大、科学院动力研究室等，机翼理论讨论会有国防部五院等，抗震报告会有科学院地球物理所、建筑工程部等。二、交换资料与研究成果，如与外单位交换叶栅方面的文献。三、参加综合性协作，或应外单位邀请派遣人员参加实际工作。如参加三峡水利枢纽中有关水利机械的设计、坝体抗震及应力分析等任务，参加刘家峡大坝设计审查，为一机部四局解决飞机颤振问题等。①1957 年 2 月，第一次全国力学学术报告会在北京举行，力学所提交了 8 篇论文以及常温塑性理论、抗震结构、旋转机械的流体动力学等三个总结性学术报告，充分显示出力学所作为全国力学研究中心的实力和地位。中国力学学会成立后，作为学会依托单位，力学所在全国学术交流和联络方面更是起到了核心作用。另外，自 1956 年起，力学所通过接受来自地方分院、高等院校和新兴产业部门人员的进修与协作等方式，为这些单位培养了大批力学人才，如 1958 年全所研究人员 800 余名，其中进修与协作人员竟达 600 多名。②

力学所积极参加国际学术交流。1956 年 6 月 16 日至 7 月 23 日，钱学森所长访问苏联，参观了 17 个研究所和试验站，做了三次学术报告，参加了四次专题座谈。其间的 6 月 25 日至 7 月 5 日，钱学森与华罗庚、陈建功、李俨、吴文俊一起参加苏联第三届数学大会，在大会上做了“关于 PLK 方法的几点注记”的学术报告。③同年 9 月 5—13 日，我国力学界派遣以周培源、钱伟长、郑哲敏、朱兆祥等人组成的代表团参加在比利时布鲁塞尔举行的第二届国际理论和应用力学大会，共宣读 8 篇论文。力学所派遣研究人员出国参加学术交流的还有：1957 年 9 月林同骥参加波兰流体力学会议。1957 年许国志参加波兰有关线性规划方面的学术会议，并于 11 月 28 日赴捷克布拉格参加统计数学会议。除了走出去，力学所还邀请外国学者来所讲学，1956 年邀请了波兰学者隆次、苏联学者穆什塔理等。在国际合作方面，力学所参加了 1958 年中苏两国科学院的合作项目，其中与力学有关的课题有 3 项：高温下固体强度的研究、高速载荷下塑性理论的研究和燃烧理论基础的研究。④后因中苏关系破裂，合作中止。此外，力学所还接受捷克来华进修生 1 名，在钱学森的指导下进修控制论。波兰进修生 1 名，在林同骥的指导下进修稀薄气体动力学。

① 《中国科学院力学研究所概况》，中国科学院档案馆，案卷号：A011—020。

② 杨丫男：《中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作（1956—1966 年）》，中国科学技术大学硕士学位论文，2009 年，第 11 页。

③ 《中国科学院 1956 年派遣科学家代表（团）出国统计表》，《中国科学院年报（1956）》，1957 年，第 314 页。

④ 《中国科学院力学研究所概况》，中国科学院档案馆，案卷号：A011—020。

第五节 本章结语

除了力学所，钱学森还在国防部五院精心培育了一批技术科学学科群，服务于航天尖端技术的研制。1956年，五院建立中国第一个空气动力学专业研究机构——空气动力研究室，庄逢甘任主任。1959年4月，扩充为空气动力研究所。至1960年代中期，北京气动所基本建成从低速到高超声速比较配套的风洞群，在航空、航天及导弹武器的气动试验和研究设计中发挥了重要作用。1960年代中期，钱学森又与庄逢甘、郭永怀等组织领导四川绵阳风洞基地的论证、决策、规划和建设。后来，绵阳基地建成了由数十座风洞设备和专用设施构成的风洞群，成为国内外著名的空气动力研究基地，研究试验与规模居亚洲第一，1988年更名为中国空气动力研究与发展中心。

钱学森十分关注控制理论的发展，1961年他觉察到现代控制理论正在形成和发展的趋势，提出要组建一支理论与工程结合的队伍研究控制理论。他找到科学院数学所关肇直副所长，提出国防科委与数学所共建控制理论研究室，开展现代控制理论研究，得到后者的积极响应和科学院的支持。1962年3月，数学所成立控制理论研究室，该室研究工作面向国防建设需要，关肇直任主任，宋健任副主任。在此后的20多年里，关肇直、宋健领导一批青年数学工作者进行现代控制理论的研究和推广，对航天、航空和航海中的控制、导航、制导和数据处理等问题，在数字仿真验证的基础上提出了可行的方案，取得了一系列重要成果，如对分布参数系统、线性系统、非线性系统、随机系统的控制问题，应用高深的数学工具做了系统的研究，为我国控制理论的发展奠定了坚实的基础，①还培养出一批国内外知名的控制理论专家。

总之，在"科学之春"的1956年，科学发展的内在逻辑与外部的社会需要取得了空前的一致，为技术科学在中国的建设和发展提供了前所未有的历史机遇。钱学森不失时机抓住了这个机遇，前瞻性地提出了发展技术科学的思想原则、发展目标和实施方案，并不遗余力地组织实施。其中，力学所的成立，使应用力学等技术科学在中国独立成科，并在不长的时间里迅速发展成为技术科学重镇，承担起"带动全国的力学研究"的角色，还为中国力学学会等学术团体的成立以及清华大学工程力学研究班等教研机构的创办储备了资源和力量。在这个过程中，作为学术领导人的钱学森，最为突出的贡献在于规划、推进和指导学科建设，而不在于他个人在学术上取得什么样的成就。

---

① 王元、王绶琯、郑哲敏：《中国科学院数学、天文学和力学四十年》，《中国科学院院刊》1989年第4期。

第六章　建设技术科学人才培养体系

现代科学技术的研究与发展是集体行为，需要大量科技人才组成金字塔形的结构，共同推进和创造。同理，一个国家的科学技术仅仅依靠少数优秀科学家也是做不好的，哪怕他们是全世界最伟大的天才，精通所有科技知识。所以，培养一代代年轻科技人才，是一个国家科学技术可持续发展的基础和保障。在国家的支持和推动下，钱学森与郭永怀、钱伟长等技术科学家一起，经过持续不断的探索和努力，初步建立起以应用力学为中心的技术科学人才培养体系，为中国科学技术可持续发展储备了优秀人才资源。

第一节　钱学森技术科学人才培养理念

传统的工程师培养模式重在传授成熟定型的工程理论与知识，训练出来的工程师通常只会解决一般性的技术问题，缺乏为工程技术开辟新途径的能力。19 世纪初，法国设立专门培养工程师的学校，前两年是基础科学教育，后两年进入专业训练阶段，学习工程技术知识，但工程与科学仍是分开进行训练的。相比之前的工程师培养模式，这种学校已有很大的进步，乃至应用力学大师铁木生可称赞"法国是传授工程师们以基础科学的全面教育的第一个国家"，[①]成为各国工程教育效仿的榜样。然而，仍有许多工程师没有认识到基础科学的重要性，甚至还有人认为："实践工程师并不需要很多的科学"。与此相反，那些重视基础科学的工程师强调，没有注意基础科学，"实践工程师就是继承他们前辈的缺点和错误的人"。[②]

① ［美］S.P.铁木生可：《材料力学史》，常振檝译，上海科学技术出版社 1961 年版，第 59 页。
② ［美］冯·卡门：《空气动力学的发展》，江可宗译，科学技术出版社 1958 年版，第 135 页。

到了19世纪末，大力倡导科学与工程结合的克莱因主张工科大学生不仅要有坚实的理论基础，还应真正懂得科学研究的方法。另一方面，数学家也需要具备一些工程基础知识。他宣称：技术科学家是工程技术的参谋人才，而非"士兵"。[①]这个观念成为冯·卡门终身追求的信条，也是他在亚琛工学院和加州理工学院推进科学与技术结合的动力源泉。冯·卡门还认为："工程教育不应当仅仅是一代一代的传授经验，而应当永远以基本科学中旧的和新的发展作为基础"。[②]言外之意，如果工程师在基础科学方面掌握更多的东西，不但能解决工程技术上的一般难题，还能走得更远更宽。克莱因在哥廷根大学与冯·卡门在加州理工学院的应用力学教育实践，堪称近代技术科学教育的样板。钱学森在总结自己学术成长经历以及麻省理工学院、哥廷根大学、加州理工学院等高校经验的基础上，对技术科学家的培养模式进行了系统的总结，形成了培养技术科学家的理念与想法。[③]

技术科学家的研究工作与工程师有着本质的区别，自然其培养理念和模式也不同于工程师。技术科学家不仅要在工程方面具有一定的实际经验，而且在数学、物理、化学等基础科学方面也要有良好的训练，更为重要的是必须掌握理工结合的方法。钱学森认为，在传统的工科大学，热衷于传授工程知识和操作训练，不大重视基础理论和数学，即使开设数学、物理等科学课程，内容也较为肤浅，而以理论结合实际方式解决工程技术问题的训练更是空白。由于工程技术的发展越来越依靠科学理论的指导，在工程师培养中逐渐增加了基础科学的训练。但是，许多人仍然认为："一切工程技术可以看作是自然科学的应用，而一个工程师的培养只要在他的专门业务课程之外，再加上自然科学就行了，就可以保证他在以后工作中有解决新问题和克服困难的能力。"20世纪初的麻省理工学院的工程教育就是建立在这样的认识基础之上，它"把工程师作为一个科学的应用者"。这在一定程度上是成功的，并被世界同行普遍克隆，成为一种新的工程教育模式。这种模式"培养出来的工程师比起老一辈的工程师来，的确有科学分析的能力，在许多困难问题上不再完全靠经验了，能用自然科学理论来帮助解决问题。"不过，"把工程技术完全建立在自然科学的基础上的这个目的，是没有完全实现的。"因为，"这种课程是四年制，前两年着重在自然科学，后两年着重专门业务。但是这两部分之间没有能结合起来。""培养出来的工程师一进入到实际工作中，不久就把他们学过的自然科学各个

---

① [美]冯·卡门、李·爱特生：《冯·卡门——航空与航天时代的科学奇才》，曹开成译，上海科学技术出版社1991年版，第63页。

② [美]冯·卡门：《空气动力学的发展》，江可宗译，科学技术出版社1958年版，第135页。

③ Hsue-Shen Tsien. Engineering and Engineering Sciences. 王寿云编：《钱学森文集》，科学出版社1991年版，第550—563页。

学科的大部分都忘了，数学也不大会用了，只不过还会运用自然科学的一般原则来帮助他们的思考罢了。要真正以科学的理论来推演出他们在工作中所需要的准则，他们还是不能做到的。”“他们最多只不过能把科学和工程混在一起，决不能让两者之间起化合作用”。原因何在？就在于自然科学虽是工程技术的基础，但它不能完全包括工程技术。另外，“不可能要求一个高等学校的学生仅仅用四年的功夫把这个非常困难的工作做好”。由于科学理论和工程技术的综合是“化合物”，“要把自然科学的理论应用到工程技术上去，是一个非常困难、需要有高度创造性的工作”，因此，“要作综合自然科学和工程技术，要产生有科学依据的工程理论需要另一种专业的人”。①

与凭借经验工作的工程师以及以理论见长的科学家不同，技术科学家既精于理论分析和计算，又具有一定的工程经验，所以需要新的培养理念和方法。钱学森认为，技术科学家须要掌握三大方面的知识和能力：一、工程设计的原理和相应的工程实践；二、扎实的物理学和化学基础知识以及相关的技术科学知识及其运用能力；三、深厚的数学基础知识与运算、分析能力。在第一类知识中，与培养工程师的传统方法差不多。在第二类知识中，较好的工科课程一般都包括这些内容，但培养技术科学家与工程师的不同在于：他们对物理学、化学知识的了解必须比后者更为深厚。第三类工具是数学方法以及帮助理解数学方法使用的数学原理，包括高级积分学、复变函数、数学分析原理、常微分方程、偏微分方程等科目。换言之，技术科学家必须知道一个应用数学家应该掌握的大部分数学知识。而且，这里的数学教授法也非常不一样。冯·卡门与比奥合著的《工程中的数学方法》较好地体现了技术科学人才训练对数学教授法的要求，钱学森对该书推崇备至。总之，培育技术科学家“从自然科学一直到生产实践，都要懂得”，知识掌握的广度、深度和训练要求远远高于工程师的培养。

钱学森强调，技术科学家是不能希望在大学四年中填满他所必须掌握的知识。他认为，高中毕业后，必须首先在一所条件良好的工程学校接受三年时间的一般的工程训练，然后再花大约三年时间去学习数学和科学。他不止一次地指出，培养一个技术科学家至少需要六年时间，而不是常规工科教育的四年。因为，交给技术科学家这些工具，并不一定意味着他能熟练地掌握和使用它们。检验掌握知识、使用知识的能力，不能由学习课程的数量与在校时间来判定，只有通过研究实践锻炼才能获得使用知识的能力。也就是唯有经过使用这些工具的研究训练，才能熟练地掌握它们的使用方法。因此，在完成技术科学家所必需的六年学校训练之后，还须

① 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》1957年第4期。

在富有经验的技术科学家指导下，花一到二年时间从事具体问题的研究，才能成为较为理想的技术科学家。他建议，一个比较好的培养方法，就是在一个设备优良的大学，在权威的指导下攻读博士学位。所以，一个合格的技术科学家的培养是一个七到八年的长期过程，完成这样的训练所需要的努力和智慧是相当大的。不过，"回报也是巨大的……工程科学家成了一些工程开发中的核心力量，他们是工业新领域的先锋。"[①]

综上所述，钱学森技术科学人才培养理念重在传授理论和工程结合的原则和方法，培养技术科学家或研究工程师，使他们能将最新的科学理论应用于工程实践，为工程技术开辟新方向，创造新工业。这些理念成为钱学森建设中国技术科学教育体系的基本指导思想，在清华大学工程力学研究班、中国科技大学近代力学系等机构得到了生动而具体的体现。

第二节　1950 年代初期我国力学教育状况

20 世纪初以后，由于民族工业取得了较快发展，国内对力学知识的需求也逐渐增加。1930 年代初，商务印书馆出版了郑太朴翻译的牛顿名著《自然哲学之数学原理》、徐骥的《应用力学》、陆志鸿的《材料强度学》等力学书籍。这一时期，一批留学国外的学者先后归国，如北京大学的夏元瑮、清华大学的周培源、北洋大学的张国藩、唐山交通大学的罗忠忱、南洋大学（上海交通大学）的淩鸿勋等，他们在国内讲授相对论、理论力学、流体力学、工程力学等力学课程，还开展力学理论与应用研究。这些教研活动为中国力学的早期发展作出了重要贡献。[②]1930 年代以后，出于国防建设的需要，国内开始发展飞机制造业，产生了对航空人才的迫切需求，清华大学、中央大学、北洋工学院、交通大学等高校先后开办航空专业，开设空气动力学方面的课程，建造风洞，其中清华大学还设立了航空研究所。这些机构在极其困难的条件下开展教学和科研，培养了我国第一批飞机设计、空气动力学方面的人才，然而由于我国航空工业基础极为薄弱以及客观环境的限制，它们的研究活动一直处于较低水平。

新中国成立以后，对原来的高教体制进行了调整，重点发展服务于工业化建设的专门性院校。在周培源的建议和筹划下，1952 年北京大学在数学系设立我国第

---

① Hsue-Shen Tsien. Engineering and Engineering Sciences. 王寿云编：《钱学森文集》，科学出版社 1991 年版，第 550—563 页。

② 中国力学学会：《中国力学学科史》，中国科学技术出版社 2012 年版，第 163—171 页。

一个专门培养力学人才的力学专业，并将数学系更名为数学力学系。北大力学专业创办之初，基本上按照莫斯科大学数学力学系力学专业的培养模式制定教学计划与大纲。当时，有周培源、吴林襄、钱敏、叶开沅、陈耀松等教师5人，他们先后从清华、燕京等高校来到北大，主持力学专业的创办与建设，开设与承担力学专业的基础课程。另外，庄逢甘、陆士嘉、钱伟长、郑哲敏、胡海昌、林鸿荪等力学专家先后到北大力学专业授课或兼职。1955年，回国的董铁宝、王仁、周光炯、孙天风等加入。钱学森、郭永怀回国后，也曾给北大力学专业学生讲课，举办专题讲座，与学生座谈，对力学专业的学科方向、课程设置和师资培养等问题提出了许多重要意见，还指导过空气动力学实验室的风洞设计。[①]自1953年起，从苏联聘请力学专家来北大工作。别洛娃、特洛依茨基等苏联专家先后为力学专业开设新课程，指导研究生与青年教师。1954年，莫斯科大学数学力学系还为北大力学专业提出一个供教学用的实验室建设规划，其中包括材料试验机、光弹性试验机、小风洞等设备。到1956年，实验室建设工作基本完成。[②]1958年10月1日，试验段直径为2.25米的国内第一座较大型的低速风洞(俗称"大风洞")建成并试车运转成功。"文革"前，我国自行研制的飞机机型大多在"大风洞"做过模型试验。至1958年，北大力学专业初具规模，师资已超过40名，分为流体力学、固体力学和一般力学三个教研室，建成了流体力学、固体力学等教学与科研实验室，形成了湍流、高超声速、气体波动、机翼理论、弹塑性理论、断裂力学、结构力学与结构稳定性、非线性力学、陀螺仪与导航理论、控制理论等方向，做出了一系列的理论与技术成果。北大力学专业的设立，是我国有意识、有计划地培养力学人才的开端，为科教事业、国民经济与国防建设输送了大批优秀力学人才，不过也有重理论轻应用的不足。

1952年，国家决定成立北京航空学院。留德归国的陆士嘉担任北航空气动力学教研室主任，并负责筹建我国第一个空气动力学专业。按照实际情况，教研室先后开设出"理论空气动力学"、"实验空气动力学"、"附面层理论"、"水力学"等多门课程。在陆士嘉主持下，1954年招收我国空气动力学专业最早的研究生。1956年，根据我国航空事业发展的需要，在陆士嘉和其他专家的提议和论证下，北航正式成立空气动力学专业。该专业是为航空航天服务的技术科学专业，教学方案和计划根据我国实际需要制定，在教学上理论教学与实验教学并重，强调教学科研结合生产实践。[③]

---

① 武际可：《近代力学在中国的传播和发展》，高等教育出版社2005年版，第156页。

② 武际可：《力学史》，上海辞书出版社2010年版，第398页。

③ 蔡德麟、张祖善：《高风亮节　为人楷模——记我国著名女科学家陆士嘉教授》，载庄逢甘主编：《纪念陆士嘉教授学术报告会论文集》，航空工业出版社1991年版，第17—30页。

到1950年代中期,我国专门培养力学人才的教育机构仅有北大数学力学系和北航空气动力学专业。另据估计,至1956年,"在高等学校副教授以上的力学教师(包括理论力学、材料力学、水力学、结构力学等)约计150人左右,他们的科学水平相差悬殊。科学研究机构副研究员以上的力学方面的研究人员大约在20—30人之间,他们的工作水平也有很大差别。他们几乎全部是从其他专业改行而来的。"①无论从质还是量上看,这样的力学人才资源状况显然无法适应大规模经济建设和科技发展对力学人才的庞大需求。

与此同时,在十二年科学规划制定过程中,钱学森、钱伟长、周培源等力学家深感我国力学人才的匮乏,认为采取常规办法缓不济急,必须采取特殊措施,快速有组织、批量化地培养高层次力学人才,以应国家急需。为此,在力学学科规划中提出"建立并巩固三个工程力学研究班和两个力学研究所,并在全国主要的综合性大学内设立力学专业,培养足够数量的优秀的受力学专业训练的大学生和副博士水平以上的干部"的措施。如何设立力学研究班?它们肩负什么样的任务,要达到什么目标?科学规划提出:"利用力学研究所的力量在国内水平较高的多科性工业大学举办大规模的研究班,吸取各工业学校各种专业中学完四年级的优秀学生参加学习,经两年的学习后,毕业时应该已掌握了工程技术某方面的基础和力学的主要部门的知识。一方面可以胜任高等工业学校教师的工作,另一方面,其中优秀的毕业生可进一步直接培养为副博士(约经一年半到两年),有能力在各研究部门独立进行或甚至领导研究工作,也有能力在大学中担任主要的讲课工作,并支援新设立的力学研究班和力学专业。"②其中,还明确提出在清华大学、交通大学和大连工学院举办三个工程力学研究班。1956年下半年,国务院根据科学规划委员会的"关于力学学科的规划的建议",责成高教部与科学院合作开办工程力学研究班,并将其作为一项紧急措施来贯彻落实。

第三节 清华大学工程力学研究班

3.1 工程力学研究班创办的指导思想

钱学森关于技术科学人才培养的理念符合力学发展的趋势,得到钱伟长和郭

---

① 钱伟长:《我国力学工作达到国际水平的远景计划草案》,载《钱伟长文选》(1),上海大学出版社2004年版,第28—36页。

② 《国家科学规划委员会关于1956—1967年基础科学学科规划》,上海市档案馆,案卷号:A52-2-742。

永怀等力学家的赞同。钱学森、钱伟长主持创办清华大学工程力学研究班，他们都主张理工结合，决定在工科教育中加强数学、物理、力学教学的份量，强化基础科学知识的掌握和运用，克服传统工科教育中基础科学教学与专业教学脱节的弊病。他们认为，力学应当坚持应用力学的发展方向，认为力学工作者要有一定的工程背景或工程知识，从工科院校本科毕业生中培养研究生是一个比较好的途径。①这些思想和理念在清华大学工程力学研究班开办和运作过程中得到了较好的贯彻。作为培养高层次技术科学人才的"试点班"，清华大学工程力学研究班成为我国第一个培养技术科学人才的专门机构。

力学研究班首届招生 120 名，分设固体力学、流体力学两个专业，目的"是对具有某一方面工程技术知识的人员施以力学的基础训练"，希望在短期内培养具有工科背景的复合型力学人才。首届学员的来源和选派条件比较严格，主要来自三大系统：(1)抽调高等工业学校四年级或四年制应届毕业生 50—60 名。(2)选派科学院有关研究机构、重要工业部门设计单位或技术研究单位及军委有关部门具有大学毕业程度以上的人员 20—30 名。(3)选派高等工业学校教研室(包括理论力学、结构力学、弹性力学、塑性力学、水力学、流体力学、空气动力学)教师(讲师或助教)40 名。②当时，全国各单位都是挑选精干人员参加力学研究班，学习世界最新的力学理论与知识。在此基础上，成立了三个学员班：一班为高校青年教师，约 40 人；二班为来自科研院所的技术人员，约 20 人；三班为应届大学毕业生，约 60 人。可以看出，所有学员都具有一定的工程知识，充分体现出技术科学人才的培养必须具有一定的工程经验为基础的原则。这样的生源经过培养，有利于培养成为既掌握坚实的科学理论又具有一定的结合工程实际开展工程力学研究的高层次人才。

力学研究班"实际上是大量培养正规研究生的一种形式"，③相当于研究生阶段的训练。事实上，他们准备按照苏联培养副博士的方案来培养这些学员。学员结业后，分配到科研机关和高等学校担任研究或教学工作，如在高等工业学校担任理论力学、材料力学、结构力学、水力学、流体力学、空气动力学、弹性力学、塑性力学等课程以及综合性大学力学课程的教员；在生产部门设计单位或技术研究单位担任有关力学的设计人员和研究人员；在科研机构担任初级研究人员。结业学员中成绩优秀者，经原单位同意，继续进行副博士论文研究工作约一年半到两年。完

---

① 郑哲敏：《回忆力学研究班》，载赵炳时、胡绍学主编：《清华大学工程力学系成立暨工程力学研究班创办五十周年庆贺文集(1958—2008)》，中国建筑工业出版社 2008 年版，第 56—57 页。

② 《工程力学研究班简则草案》，清华大学档案馆，案卷号：57005。

③ 《高等教育部关于清华大学附设工程力学研究班和生产过程自动化进修班的学员待遇的通知》，清华大学档案馆，案卷号：57005。

成副博士论文的学员可以充任:一、新建高等工业学校力学方面的骨干教师;二、科研机构中的中层骨干。①事实上,这条规定未能实施。学员结业后,第一部分学员由国家统一分配到全国各地高等学校和科研机构,第二、三部分学员返回原单位。从去向上看,大多数学员到工程技术机构任职,比较鲜明地体现了技术科学为工程技术服务的宗旨。

3.2 工程力学研究班的课程设置与教学

经过简短而高效的筹备,1957 年 2 月力学研究班在清华大学正式开班。120 多名学员从各地来到清华园,成为力学研究班首届学员。师资由科学院力学所和清华大学提供,实际上力学所担负了大部分的教学任务。为了更好地完成培养任务,力学研究班成立了班务会议,职责是根据高等教育部和科学院的联合指示,"贯彻本班的培养目标,经常领导检查督促本班的工作并通过清华大学向高等教育部及中国科学院汇报工作"。②班务会议委员有钱伟长(兼班主任)、钱学森、张维、郭永怀和杜庆华。钱伟长在 1957 年"反右"运动中被划为"右派",之后由郭永怀接任班主任,杜庆华则一直担任副班主任。

工程力学研究班第一届流体力学专业课程设置、教师与教材

时间	课程名称	讲课教授	教材
	应用数学	钱伟长	蜡纸刻印版讲义
第一学年	流体力学概论	郭永怀 何友声等辅导	Ludwig Prandtl. Essentials of Fluid Mechanics. Springer,非正式翻译讲义
	理论流体力学	潘良儒 游镇雄、薛问西辅导	A. S. Remsey, W. H. Besant. A treatise on Hydromechanics. Part 2, Hydrodynamics. G. Bell and Sons, 1954.非正式翻译讲义
	弹性力学	杜庆华	钱伟长,叶开沅.弹性力学.科学出版社,1956
	分析力学	郑哲敏 李方泽辅导	
	非线性振动	郑哲敏	J. J. Stocker. Nonlinear vibrations in mechanical and electrical systems. John Wiley & Sons Inc, 1950.非正式翻译讲义
	英语	王文佳	
	自然辩证法	周寿昌	

① 《工程力学研究班简则草案》,清华大学档案馆,案卷号:57005。

② 《清华大学附设自动化进修班、力学研究班班务会议章程(草案)》,清华大学档案馆,案卷号:57005。

续表

时间	课程名称	讲课教授	教　　材
第二学年	数学	孙念增	(苏)B.Y.斯米尔诺夫.高等数学教程.高等教育出版社,中译本,1952
	特殊函数及其应用	张鸣华	(苏)H.H.列别捷夫.高等教育出版社,中译本,1957
	复变函数及其应用	董今柱	
	粘性流体力学	郭永怀 刘应中辅导	H.Schlichting. Boundary Layer Theory. 英译本,1955
	水动力学	钱学森	钱学森著,部分材料参考Кочин—《Теоретическая Гидромеханика》, 1948. 当时无讲义,学员记笔记。
	塑性力学及强度理论	杜庆华	
	高超音速空气动力学	卞荫贵	
	气体动力学	孙天风 杨乍生,俞元亮辅导	H. W. Liepmann, A. Roshko. Elements of Gasdynamics. John Wiley & Sons, Inc. 1957

资料来源:贾欣乐:工程力学研究班课程设置,http://blog.sina.com.cn/u/1885427622.

力学研究班学制两年,授课时间约为一年半。根据规定,除了学习政治、数学、外语外,学员着重学习基本的力学理论和实验技术,课程主要有数学、理论力学、固体力学(包括材料力学、弹性力学等)、流体力学、力学实验、哲学、论文问题。关于外国语,准备开设英文课(学员入学时俄文最好已有一定的基础)。[①]在第四学期,要求学员在对生产单位调查和搜集资料的基础上,选择其中的力学问题予以研究解决,写出论文,进行答辩。每届学员虽分为固体力学和流体力学两个专业班,但无论何种专业的学员都要求学习固体力学和流体力学这两门主课,还可选修对方的专业课程。共同学习的课程有英语、自然辩证法、应用数学、流体力学概论、弹性力学和分析力学,授课教师分别为王文佳、周寿昌、钱伟长、郭永怀、杜庆华和郑哲敏。然后,将学员分成流体力学和固体力学两个方向,前者继续学习理论流体力学、空气动力学、粘性流体力学和水动力学课程,分别由潘良儒、孙天风、郭永怀和钱学森讲授;后者学习弹性动力学、塑性力学、极限分析、板壳理论和振动理论课程,分别由胡海昌、李敏华、王仁、黄茂光和程世祜讲授。这些任课教师大多在美国受过学术训练,使得讲授的课程内容带有不少美国大学力学专业研究生课程的色

① 《高等教育部答复工程力学研究班有关问题(1956年9月5日)》,清华大学档案馆,案卷号:57005。

彩。据学员贾欣乐回忆,"反右"期间力学班有同学贴大字报,把力学班课程和康奈尔大学力学研究生班进行了比较,发现两者如出一辙,甚至两边的教授也相同(郭永怀回国前在康奈尔大学讲授的就是粘性流体力学),惊呼"我们在向资本主义看齐"。后来,据说钱学森对此给予了回应:"即使我班的课程安排与康奈尔大学相似,又有何不可?"此言一出,异议自消。[①]只是在教材和参考文献中,可以见到些许以苏联为师的态度。这份带有"明修栈道,暗度陈仓"色彩的教学方案,帮助学员学到了力学的前沿内容,让大家站在比较高的起点上开始学术之路。

力学研究班的任课教师多为刚回国的知名力学家或各个学术方向的"名角",他们的学术成就和声望在世界范围内也是不多见的。尤其是钱学森、钱伟长、郭永怀等大力提倡理论与工程结合的观点,讲授课程既重视成熟力学理论的介绍,又注意国际力学界前沿的知识与理念,许多教学内容代表了当时的世界水准。如何友声回忆说,钱学森、钱伟长、郭永怀等"亲自执教或指导论文,一时名师荟萃,群英毕至,盛况空前。他们为学员带来当时国际力学学科领域的最新成就与理念,使受业者眼界大开,学业猛进,受益终身,犹如在朦胧的迷途中,敞开了一片新的天地。"[②]

应用数学由钱伟长亲自设计、自编讲义、亲自讲授,是一门很有特色的课程。学员贾欣乐说:"这门课讲的太棒了,其内容丰富实用:从量级分析、误差理论、近似计算、量纲分析与相似原理(π 定理)到线性系统微幅振动、弹性体的振型等,这些都是一个力学工作者做研究时所必备的基本功。而由著名学者从更深的层次、更广的视角讲授这些东西,我们可以说是终生获益,受用无穷。"而且,讲授内容与传统的数学课也大不一样,学员们"在后来的教学和科研工作中却越来越体会到这些内容的重要性"。更令学员倾倒的是钱伟长讲课的风采,"他一改传统风格,很少写板书、翻教材,而是在讲台上踱着方步,时而低头若有所思,时而举首侃侃而谈。他用吴侬软音的'普通话',讲出了经过深思熟虑而发的指教和忠告,极富感召力和渗透力,听者无不心悦诚服,肃然起敬。"[③]章光华也回忆说:"钱先生在课堂上像是在同学生谈心,旁征博引,讲得娓娓动听。例如,讲到量纲的概念,钱先生说:'一个写对的方程,其每一项的量纲都要相同;这个道理虽然很简单,但过去有些工程中用到的经验公式却不是这样的,这种公式毫无意义。'由此展开,他为我们讲授了'量纲概念'这一探求物理现象中各种参变量之间关系的重要方法。又如,在讲到量级

---

① 贾欣乐:《五十年重聚清华》(2),http://blog.sina.com.cn/u/1885427622。

② 刘应中、何友声:《注释与说明》,载钱学森:《水动力学讲义手稿》,上海交通大学出版社 2007 年版,第 92 页。

③ 贾欣乐:《感受钱伟长先生之风采——清华园杂忆》(3),http://blog.sina.com.cn/u/1885427622。

的概念时，钱先生这样说：理论上导出一个方程，其中各项的量值往往会相差几千倍、几万倍……如果忽略那些小量级的量，一个无法求解的方程往往会变得容易求解。力学中许多著名的近似解就是这样得到的。”①

郭永怀讲授流体力学概论。他与钱学森商量，决定采用普朗特的名著《流体力学概论》作为主要教材，并着手翻译成中文。②郭永怀认为，这本书是流体力学领域最好的著作。普朗特最为突出的特点是从对物理现象的观察出发，而不是从抽象的数学概念出发研究力学问题。章光华回忆说：“郭先生选用这本教材的用意是要我们学会这种研究方法。在这门课程中郭先生只讲物理概念，很少在黑板上写数学公式，更不要说作数学推导了。对于讲授流体力学这门数学物理性质很强的课程，这似乎难以想象，但郭先生确实是这样做的。”③郭永怀当时回国不久，许多专业词汇还不能准确地用中文表达，但他坚持全部用中文授课，遇到一些专业词汇，常常说几个译名，询问听课的学生和助教，当他的译名得到认可时，就会像学生做出一道难题那样露出一丝微笑。④刘应中、何友声担任这门课程的辅导工作。这对他们这些助教来说是一次考验，不过也提供了探究知识的大好机会，他们不仅可以与其他助教一起共同探讨，而且还有直接向郭永怀请教的机会，深得探究学问氛围的熏陶和启发。有一次，何友声等几个助教把教材中个别难懂处的矛盾交给郭永怀，几天后郭永怀在课堂对全体听课者说：“这个问题如何理解，我也考虑了很久，今晨正好遇到钱学森，跟他讨论了一下。我们的共同看法是……供你们参考。”⑤他的话充分彰显出探讨学问的严谨学风和良好氛围，给大家留下了深刻的印象。1966 年，郭永怀翻译的《流体力学概论》由科学出版社出版。普朗特逝世以后，他的学生根据流体力学的新发展修订该书，改写了大部分章节，使内容更为丰富。1970 年代后期，陆士嘉重新翻译该书德文第七版修订本，将这本近代流体力学权威著作的新版本介绍给国内力学界。⑥

1958 年 11 月至 1959 年初，钱学森为流体力学专业学员班讲授水动力学，这是首届力学研究班的最后一门课。自 1958 年 11 月 27 日开始，钱学森每周在清华大学新水利馆讲授一次，每次四节课，共讲了 8 次。整个课程分九讲，即表面波、表

---

①③　章光华：《感怀读大学和研究班时老师的讲课风格》，载清华大学航天航空学院编辑组：《固本求源创新　顶天立地树人——清华大学工程力学系发展历程》，清华大学出版社 2011 年版，第 190—192 页。

②　《力学班几个教师的讲课情况（1958 年 6 月 5 日打印）》，清华大学档案馆，案卷号：57005。

④　张兆顺、呼和敖德：《忆敬爱的郭永怀老师》，载郑哲敏主编：《郭永怀先生诞辰九十周年纪念文集》，气象出版社 1999 年版，第 48 页。

⑤　何友声：《昔日的追忆》，载赵炳时、胡绍学主编：《清华大学工程力学系成立暨工程力学研究班创办五十周年庆贺文集（1958—2008）》，中国建筑工业出版社 2008 年版，第 73—74 页。

⑥　蔡德麟：《陆士嘉》，载中国科学技术协会编：《中国科学技术专家传略》（工程技术编，力学卷 1），中国科学技术出版社 1993 年版，第 90—101 页。

面波(续)、波阻、水面滑行的平板、浅水中的长波、河流水动力学、空化、非线性自由面及交界面问题、泥沙问题。[①]在授课过程中,钱学森充分贯彻技术科学思想,指点学术门径与方法。学员张涵信回忆说:这门课"是如何做技术科学研究的示范","我学过水力学和流体力学,当时觉得流体力学太空,没有应用,水力学实用,但经验系数太多。钱老的水动力学,从流体力学的基本理论出发,讲解如何运用到水轮机上,如何应用到泥沙问题、明渠问题、气蚀问题及水文预报问题上。这些内容都是他提出来的新理论和新方法,使我们大开眼界。"[②]钱学森渊博的知识和深入浅出的讲授打动了每一个学员,尤其是理论联系实际的风格对学员们产生了深刻的影响。如魏良琰回忆说:那时力学班的学习生活已接近尾声,大家正忙于毕业前的各种安排,但钱学森的授课使同学们耳目一新。他广阔的视角、严密的论证、深入的分析、生动的语言,娓娓道来,深深打动了大家。他经常在课堂上临时发挥,层层揭示模化思路,将讨论引向发展的前沿,使学生们如醍醐灌顶,终生受用[③]。

当年上课的情形,许多学员至今历历在目,如在总结和展望水动力学时,钱学森说了这么一段话:"水动力学过去的研究还只是限于潮汐、波浪和管道水流。泥沙和水工中许多其他问题,力学工作做得很少。力学家都跑到航空中去了!当然,这里面还应有重点,在一段时间内,重点多半还在天上,不在地下,在水的方面花的力量比较轻些。在水工建筑中所用的工具也缺乏力学工作,工程师什么时候都用平均速度,速度分布、流场的概念不大用,但在航空中就必须用。正是因为不平均,所以产生升力,平均速度只管飞行的快慢。现在看来有一些问题:对于泥沙、水轮机、管道流动,压力分布的问题再用平均速度不解决问题了。宣传一下,做这方面的工作多注意流场"。时至今日,虽然水利工程师在大多数情况下依然采用平均流速,但钱学森对于加强流场研究的主张已经产生了深刻的影响。[④]贾欣乐说,水动力学课程"内容新潮,讲解精深。一次,在黑板上推演公式时,中间似乎不太顺畅,略加思索后,他说:'玩儿命也得把结果导出来。'钱老治学之严谨,于此可见一斑。"[⑤]杨文熊也说:"他的教法独特、概念清楚、口齿清晰,听他的课简直可用'享受'二字来比拟了。"[⑥]

---

① 钱学森:《水动力学讲义手稿》,上海交通大学出版社2007年版。

② 张涵信:《力学研究班的一些回忆》,载清华大学航天航空学院编辑组:《固本求源创新 顶天立地树人——清华大学工程力学系发展历程》,清华大学出版社2011年版,第66—67页。

③④ 魏良琰:《回忆钱学森老师讲授水动力学》,载清华大学航天航空学院编辑组:《固本求源创新 顶天立地树人——清华大学工程力学系发展历程》,清华大学出版社2011年版,第168—169页。

⑤ 贾欣乐:《感受钱学森先生之风采——清华园杂忆》(1),http://blog.sina.com.cn/u/1885427622。

⑥ 杨文熊:《忆两位力学大师对我们的启蒙和教诲》,载赵炳时、胡绍学主编:《清华大学工程力学系成立暨工程力学研究班创办五十周年庆贺文集(1958—2008)》,中国建筑工业出版社2008年版,第149页。

当时，钱学森非常繁忙，但仍在课前精心备课，设法挤出时间撰写讲义。魏良琰记得，一次辅导老师要他（那时魏良琰担任流体力学班班长）与钱学森联系，想请钱学森为力学班作一次关于人造卫星和宇宙飞行的讲演，钱学森当即拱手表示实在没有时间，还说为他们上课都是晚上准备直到深夜两点。大家如沐春风地享受钱学森精彩授课的背后，却是他为此而付出的大量时间和心血。钱学森的讲课“像是逻辑严密的文章和精雕细刻的艺术品。只要完整地记下来，几乎无需修改一个字，就可以当作一份正式的讲义。”[①]课程结束后，他将所有的讲义手稿用文件夹归类存放。2007年，这份讲义正式出版，定名为《水动力学讲义手稿》。何友声与刘应中，结合杨文熊、魏良琰当时的课堂笔记，为手稿做了导读性注释。其中，他们写道：“选材简赅精切，遴选的内容具有基础性、经典性，至今仍使人感到熠熠生辉；在阐述和推演过程中充分体现了哥廷根学派的重要理念：强调科学与技术、数学学科与应用学科紧密结合来解决工程关键问题；要求细致观察和了解物理现象，提炼出反映本质的物理模型，然后建立方程加以模化，用最有效的数学手段求出结果，从而掌握事物的基本规律。”这正是钱学森率先提出的“力学是技术科学”精神的具体演示。手稿的另一大特色，就是“清晰耐读，详略得体，推演细腻，覆盖全面；这样细致而又充实的备课笔记所体现的负责、求实、善诱、谆导的精神，足为后人示范。”[②]讲义手稿的写就距今已有半个多世纪，科学技术的突飞猛进不仅没有使它失去光彩，反而彰显出它旺盛的生命力。

钱学森不仅传授学员知识，还注意培养大家的质疑和创新精神。他把学术讨论视为促进学业进步、开拓思路、繁荣学术、追求卓越不可或缺的环节。他多次与学员谈及当年以冯·卡门为核心的学术团队内部学术讨论的趣闻和故事，给大家以莫大的启示。他说自己做学生时，同学之间常常讨论，常为一些问题争辩得面红耳赤，这些同学后来都成了学术权威。何友声回忆说：“他特别强调，不论做事还是做学问，不应迷信权威，要有质疑精神，要有自己的判断。记得有一次，一位从水利系统来的学员在黑板上介绍利用一个公式来处理工程中某项问题。钱老师正好坐在下面听讲，他当即提问：‘为什么要用这个公式？’该学员斩钉截铁地回答：‘这个公式是某苏联专家提供的，绝对不会错！’钱老师笑着说：‘这是一个从水利工程角度提出的式子，包含了许多近似因素。处理精细的工程问题恐怕要从理论上重新推导，不可迷信呵！’他的判断和叮嘱，让听者深受教育。”[③]另据杨文熊回忆，有一次钱学森在讲课中讲到水

---

① 魏良琰：《回忆钱学森老师讲授水动力学》，载清华大学航天航空学院编辑组：《固本求源创新　顶天立地树人——清华大学工程力学系发展历程》，清华大学出版社2011年版，第168—169页。

② 刘应中、何友声：《注释与说明》，载钱学森：《水动力学讲义手稿》，上海交通大学出版社2007年版，第92页。

③ 何友声：《讨论启思路，争辩出佳绩》，2011年8月30日。

波下面的流线形状概念时，评价了苏联流体力学权威柯钦。今天看来，这是很正常的事情，但在当时“一边倒”学习苏联的社会环境下是难得一见的。①

为了帮助学员树立理论结合实际的理念，掌握工程力学的研究方法，钱学森多次为大家做学术报告。1957 年 6 月 15 日，他在清华大礼堂做“论技术科学”的报告，向大家讲述了力学与技术科学的研究方法、研究内容以及如何成为技术科学家。1958 年 1 月 4 日，他又在清华科学馆 213 室就力学研究班的学习问题为大家做专题讲座，讲述如何把技术科学思想贯彻到学习与毕业专题研究之中，大概讲了一个半小时。据钱学森本人保留的讲话提纲，讲述内容主要为：一、我国力学方面存在着什么性质的问题。(1)力学是一门技术科学。它解决工程技术里面的力学问题，例如航空、动力、船舶、建筑等领域的力学问题。(2)力学工作需要既具有理论功底、计算能力，又具有实际工程经验的人才。(3)力学研究班非常重要。二、学习态度上的问题。(1)一定要逐渐取得独立工作的能力。看文献不是“找题目”，钻空子，而是了解前人的工作成果。(2)不要怕麻烦，对实验对计算都不能怕。(3)不能偏重流体。(4)将来的研究不一定限于现在的专业，力学是活的。②这次讲座充分表达出他的技术科学思想。多年后，曾聆听过这次报告的沈季敏还清晰地记得钱学森的精彩讲演，说他的报告“揭开了力学科学的本质及他从事教研工作的经验，使我们对学习工程力学更充满信心”。③

因清华大学缺少校舍，力学研究班最初设在西直门外的科学院植物所内，与北京动物园毗邻且相通，条件简陋却环境幽静，1957 年秋迁到清华园诚斋。当时，班上上课人数多，教室条件比较简陋，冬天取暖设施也比较差。然而，老师们的授课内容博大精深，课堂秩序井然，整个气氛是积极进取、热烈向上的，大家学习热情十分高昂，都聚精会神地汲取老师的讲授内容。授课没有固定的教材和讲稿，在课堂上围绕一个主题可以讲得海阔天空、深入浅出。就是在这样的环境下，学员们在力学前辈的指引下逐渐步入力学殿堂，如沈季敏说：“通过力学研究班的学习，才让我进入了力学世界，懂得了什么是力学科学。”④陈烈民说，虽然后来一直从事机械专业，但“从工程力学研究班获得的力学知识，仍为我一生的工作提供了扎实的理论基础，而且对于力学的兴趣也终生未泯。”⑤有些学员还将在研究班上产生兴趣的

---

① 杨文熊：《忆两位力学大师对我们的启蒙和教诲》，载赵炳时、胡绍学主编：《清华大学工程力学系成立暨工程力学研究班创办五十周年庆贺文集(1958—2008)》，中国建筑工业出版社 2008 年版，第 149 页。

② 钱学森：《对工程力学研究班讲话(1958 年 1 月 4 日)》，上海交通大学钱学森图书馆。

③④ 沈季敏：《半个世纪的回顾》，载赵炳时、胡绍学主编：《清华大学工程力学系成立暨工程力学研究班创办五十周年庆贺文集(1958—2008)》，中国建筑工业出版社 2008 年版，第 141—143 页。

⑤ 陈烈民：《从一张老照片勾起的点滴回忆》，载赵炳时、胡绍学主编：《清华大学工程力学系成立暨工程力学研究班创办五十周年庆贺文集(1958—2008)》，中国建筑工业出版社 2008 年版，第 135 页。

知识领域作为后来主攻的学术方向，如尹祥础说："李敏华老师教我们'塑性力学'。关于加卸载的概念，尤其是材料的卸载特性的重要性等都是从李老师那儿学来的。此后我转入到地震科学方面的研究，根据加卸载等基本概念，提出了地震预测的新理论——加卸载响应比理论。……在中、美、日、澳、意、伊朗等不少国家得到应用。不仅预测天然地震，还逐步推广到预测矿震、水库地震、滑坡、火山爆发等灾害和重大工程事故以及工程结构健康检测方面"①。同为辅导助教的周承倜与唐照千，志同道合，性情相投，成为知心好友，莫逆之交。周承倜回忆说："那时我们都很年轻，勤奋好学，白天除了上课用心听讲，认真作笔记，积极完成教学辅导任务外，课后还查阅大量文献，共同讨论，交换看法和心得。每天晚上 9 点半前是我们用功读书的第三单元，10 点以后直到深夜是我们钻研业务的第四单元。唐照千对振动理论情有独钟，他深入研读了许多文献。我们在讨论一些有关振动力学问题时，他经常提出一些很有独到之处的见解，使我很受到启发和佩服。'文革'后，他发表的一系列有关振动力学的论文，有些正是我们在力学班相处期间他所深入考虑过的问题。我在这一时期对固体塑性理论和薄壳结构稳定理论非常有兴趣。我曾经深入学习和钻研了钱学森老师在三十年代所提出的薄壳结构稳定性的后屈曲跳跃理论，以及钱伟长老师在四、五十年代提出的非线性大挠度薄壳稳定性理论。他们的创造性研究成果对我后来的业务工作的发展起到了非常重要的作用。"②他在辅导固体力学和塑性理论课程期间，与唐照千合作翻译了苏联列宁格勒大学的研究生教材——卡恰诺夫教授的名著《塑性理论基础》(俄文)。翻译本经杜庆华校对后，由高等教育出版社出版。

结合课程学习，力学研究班还安排了固体力学、流体力学、振动实验操作和测试等实验环节。郭永怀对几位流体力学课程辅导助教说，实验工作很重要，今后你们的主要工作就是准备并指导实验。为此，他带大家去北航参观风洞实验室并拜访了陆士嘉。③学员兼辅导助教何友声还到清华大学水力学实验室、北航风洞实验室洽谈和安排有关的实验项目。

力学研究班十分重视培养学员结合工程实际开展研究的能力，在最后一学期毕业设计阶段为学员安排了"研究论文"和"专题研究"环节，在老师的指导下开展专题研究。力学所和清华大学许多力学专家参加了论文与专题研究的指导。毕业

---

①　尹祥础等：LURR'S Twenty Years and its Perspective(加卸载响应比理论的二十年及其发展前景)，载李和娣主编：《固体力学进展及应用——庆贺李敏华院士 90 华诞文集》，科学出版社 2007 年版，第 29—47 页。

②　周承倜：《清华大学工程力学研究班的回忆》，载赵炳时、胡绍学主编：《清华大学工程力学系成立暨工程力学研究班创办五十周年庆贺文集(1958—2008)》，中国建筑工业出版社 2008 年版，第 106—108 页。

③　俞鸿儒：《郭先生引导我做实验》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009 年，第 30—35 页。

专题研究的题目基本上来自生产实际，结合航空、土木、水利、机械等领域的固体力学与流体力学问题进行，最后写出研究论文，并分组进行口头答辩。林同骥、孙天风、潘良儒、林鸿荪、卞荫贵等是流体力学方面的指导老师，他们每人分头带几名学员，并配备一名辅导助教。何友声被安排跟随林同骥，他最初定下的选题是设计超声速风洞。张涵信是水利系毕业的，毕业专题研究的是大坝上高速水流掺气问题。杨文熊的毕业专题是“风力发电”。在力学所答辩时，他发现钱学森也在下面倾听。当他结束论文介绍时，钱学森笑嘻嘻地提出：“你对风力发电下面的架子有没有考虑到‘狼群’来啃它从而导致了塔架倒塌？”杨文熊顿时一怔，想这提问的内容不是他考虑的，但在大家哈哈大笑之际，他想到了这是架子的“强度”问题，随即作了设置加强杆的回答，钱学森满意了！①

令人感到有些遗憾的是，力学研究班的教学和毕业专题研究不时受到政治运动的干扰。1957 年 6 月开始的“反右”运动影响到了力学研究班，钱伟长成为首当其冲的“右派”，遭到无情的批判，无法再来上课。一年后，“大跃进”运动的开展，又使论文和毕业专题研究受到严重干扰，郑哲敏回忆说：“当时成立了若干论文小组，各自有自己的题目。我那个组大约有十几人，题目是我出的，我也参加过几次研讨，是关于火车过悬索桥所引起的振动，进展如何，有什么结果？好像没有人告诉我”。②其时，运动的暴风骤雨侵袭了力学研究班，清华园内“开展了插红旗拔白旗的大辩论，大字报满天飞，送给力学所老师们的大字报可堆满一个房间”，“有点乱了套”。③实际上，干扰和破坏远非如此。“先是否定力学研究班初步拟定的论文内容进行学科探索的可能性，其后又否定一些基础学习的必要性”。④另外，还有许多学员被抽调去力学所参加“581”任务，为“上天”而焚膏继晷。

3.3 工程力学研究班的成绩与影响

力学研究班的办学模式在当时是一大独创，虽在办学过程中受到“反右”、“大跃进”等政治运动的干扰和影响，但仍然完成了培养流程。1959 年 1 月，首届研究班 127 名学员结业。事实表明，力学研究班的办学理念和集中训练的培养方式是

---

① 杨文熊：《忆两位力学大师对我们的启蒙何教诲》，载赵炳时、胡绍学主编：《清华大学工程力学系成立暨工程力学研究班创办五十周年庆贺文集（1958—2008）》，中国建筑工业出版社 2008 年版，第 149 页。

② 郑哲敏：《回忆力学研究班》，载赵炳时、胡绍学主编：《清华大学工程力学系成立暨工程力学研究班创办五十周年庆贺文集（1958—2008）》，中国建筑工业出版社 2008 年版，第 56—57 页。

③ 何友声：《昔日的追忆》，载赵炳时、胡绍学主编：《清华大学工程力学系成立暨工程力学研究班创办五十周年庆贺文集（1958—2008）》，中国建筑工业出版社 2008 年版，第 73—74 页。

④ 杜庆华：《力学研究生培养和工程应用基础研究》，载姚振汉、王勖成、岑章志主编：《力学与工程——杜庆华院士八十寿辰庆贺文集》，清华大学出版社 1999 年版。

非常成功的，大大推进了我国力学事业的发展，“在我国力学学科发展史上的重大作用，得到业界公认”。①

首先，它的开办突破了体制上的束缚，带动了我国工程力学教育的发展。当时，力学专业在苏联一般都设在综合性大学，根据苏联模式建立的我国工科大学也就没有开设力学专业，这成为力学界的一大憾事。杜庆华回忆说：“记得50年代初期，我曾参与制定我国第一个工科大学工程力学专业的教学计划。当时作为我国政府的苏联教育顾问竟然完全否决了在工科大学办力学专业的要求，使我和不少同仁曾深为失望。”②在这样的背景下，力学研究班的开办无疑是开创性的，突破了思想上的束缚和体制上的障碍，随后工程力学专业在国内工科院校普遍建立起来。1958年7月，清华大学在力学研究班的基础上成立工程力学数学系，“以数学、物理、力学等基础学科为基础，研究技术科学理论，又与生产实践相结合，解决工程设计提出的问题，培养有社会主义觉悟、又红又专的力学和计算数学人才”，设立流体力学、固体力学和计算数学三个专业。③其与工程相结合的办学思想和培养目标与力学研究班一脉相承。对此，清华工程力学数学系首任主任张维说：“工程力学研究班也为工程力学系的成立创造了良好条件，为我系初期教学工作打下了部分基础。因此，工程力学研究班可以看成工程力学系的前身。”④随后，中国科技大学等高校的力学系或力学专业相继创办（见下表），担负起培养力学人才的重任，作为紧急措施而开办的力学研究班的使命宣告完成。这些新建的工程力学专业或力学系借鉴了力学研究班的办学思想和培养模式，为国家培养了大量的力学人才。更有甚者，上海交通大学还以力学研究班为榜样，与华东力学研究所合作举办力学研究班。

1950—1960年代我国高校力学专业或力学系开办情况一览表

学校名称	专业和系	创建时间	创建人员
北京大学	力学专业	1952	周培源、钱伟长、钱敏、吴林襄、叶开沅、陈耀松等
北京航空学院	空气动力学专业	1956	沈元、陆士嘉等
大连工学院	工程力学系	1957	钱令希、唐立民等

① 刘应中、何友声：《注释与说明》，载钱学森：《水动力学讲义手稿》，上海交通大学出版社2007年版，第92页。

② 杜庆华：《力学研究生培养和工程应用基础研究》，载姚振汉、王勖成、岑章志主编：《力学与工程——杜庆华院士八十寿辰庆贺文集》，清华大学出版社1999年版。

③ 清华大学航天航空学院编辑组：《固本求源创新　顶天立地树人——清华大学工程力学系发展历程》，清华大学出版社2011年版，第9页。

④ 张维：《贺工程力学研究班和工程力学系创办三十周年》，载《清华大学工程力学与工程热物理学术会议论文集》，清华大学出版社1988年版，第1—4页。

续表

学校名称	专业和系	创建时间	创建人员
西北工业大学	数理力学系	1957	胡沛泉等
清华大学	工程力学系	1958	张维、杜庆华、黄克智等
上海交通大学	工程力学系	1958	罗祖道、何友声、董石麟
中国科学技术大学	近代力学系	1958	钱学森、郑哲敏、朱兆祥等
哈尔滨工业大学	工程力学系	1958	陶城、王铎
西安交通大学	工程力学系	1959	蒋咏秋、嵇醒、唐照千等
天津大学	应用力学专业	1959	严宗达等
复旦大学	力学专业	1958	叶敬棠
同济大学	工程力学专业	1958	李国豪、徐次达、翁智远
华东水利学院	工程力学系	1958	徐芝纶、赵光恒
浙江大学	力学专业	1958	王仁东、谢贻权
山东工学院	工程力学专业	1959	刘先志
重庆大学	工程力学系	1959	杨绪灿
湖南大学	工程力学专业	1959	熊祝华
兰州大学	固体力学专业	1960	叶开沅

资料来源：王晓东：《从三足鼎立到力学十强——中国力学教育发展50年回顾》，载戴世强等：《古今力学思想与方法(第二届全国力学史与方法论学术研讨会论文集)》，上海大学出版社2005年版，第51—63页。

其次，它为国家培养了大批急需的优秀力学人才。继首届力学研究班之后，1958年9月招收了第二届学员64名，1959年11月又招收了第三届学员134名，三届共计325名。绝大多数学员是从经过不同工程专业训练的大学毕业生和工程技术人员中选拔出来的，他们在力学研究班受到了工程力学理论和实验技术的训练，获得了独立开展研究或开设工程力学课程的能力，在一定程度上满足了我国力学教育和研究工作发展的急需。当时，我国还没有实行学位制度，而这些学员的选拔和培养均是参照苏联培养副博士的标准来进行的，后来教育部发文正式将力学研究班这三届学员的“出身”定为“研究生毕业”。

力学研究班学员毕业以后，陆续回到原工作单位或被安排到新的岗位。他们以钱学森、钱伟长、郭永怀等大师为榜样，经过几十年的锤炼，许多人成为各个机构的学术带头人或业务骨干，有的还建立了很有特色的力学研究与教学机构，取得了十分出色的成绩。其中，俞鸿儒、朱仁芳、范本尧、张涵信、何友声、谢友柏等当选为中国科学院或中国工程院院士。何友声，1957年2月被选送到力学研究班深造，

主修流体力学，兼任辅导助教。1958年8月，何友声提前返回上海交大。当时，上海市正在组织全市力量研制探空火箭，何友声被任命为负责人，率领100多名技术人员进行资料收集、初步设计和委托加工，建成了火箭发动机试验台等设施。不久，他协助筹建上海机电设计院，建立火箭设计专业队伍。紧接着，又被学校委以重任，筹办工程力学系，任系副主任，负责筹建火箭弹体、火箭发动机、火箭发射装置、固体力学、流体力学等五个新专业。他在工程力学系讲授空气动力学、高速附面层等课程，并在上海市举办力学短训班，为国防工业部门培养人才。几年后，一支强壮的青年师资队伍迅速成长起来，几十门新的专业课程也在保证质量的前提下开设出来，各类实习、课程设计、毕业设计都能按质按量完成。培养出来的学生，为上海市筹建华东力学研究所，为上海机电设计院和机电二局输送了大批专业技术人才。其间，何友声还在各种学术会议和刊物上发表十多篇论文，在水动力学领域崭露头角。①西安交大青年力学教师嵇醒、唐照千被选入力学研究班，并担任辅导助教。在力学研究班的两年，他们的力学知识和理论素养得到了全面提升，成为人生事业的新起点。1959年，嵇醒、唐照千回到西安交大，立即开展创办工程力学专业的工作。唐照千负责振动动力学方向和实验室的筹建，嵇醒负责固体力学方向和教学计划的修订。他们一边承担专业课程教学，一边继续学术探索。他们强调，在所有设置的力学课程中要贯彻技术科学思想，除了要求学生在数学、力学和工程力学方面具备扎实的基础外，还特别要求加强振动动力学的理论和实验课程。1962年，嵇醒担任工程力学系应用力学教研室副主任，为创建西安交大工程力学学科和培养应用力学人才作出了重要贡献。②周承倜返回大连工学院后，在钱令希建立的工程力学系担任第三教研室主任，负责开设弹塑性力学课程，并筹建固体强度实验室，后来发展成为国家重点实验室。对于力学研究班学员所取得的成绩及其对我国力学事业发展的贡献，张维评价说："其中绝大多数现已成为我国当前力学学科的科研和教学的骨干。工程力学研究班的成立对我国力学学科发展起了很大的推动作用。这是培养力学人才的一个很成功的经验。"③

再次，它向学员传授了最新的力学知识，锻炼了从事创造性科研的能力，还使大家树立了力学来源于工程、服务于工程的技术科学理念。这些学员将从钱学森、钱伟长、郭永怀等力学家身上学到的力学理论与严谨治学的学风，传播至全国各个

① 朱世权、叶取源：《何友声》，载中国科学技术协会编：《中国科学技术专家传略》（工程技术编，力学卷2），福建教育出版社1997年版，第405—412页。

② 宋子康、仲政：《嵇醒》，载中国科学技术协会编：《中国科学技术专家传略》（工程技术编，力学卷2），福建教育出版社1997年版，第362—371页。

③ 张维：《贺工程力学研究班和工程力学系创办三十周年》，载《清华大学工程力学与工程热物理学术会议论文集》，清华大学出版社1988年版，第1—4页。

力学教研机构，让理工结合的技术科学理念在我国力学界发扬光大。

在首届力学研究班开办和运作的同时，清华大学还举办了一届自动化进修班，培养了一批从事自动控制教育和技术研究的专门人才，满足了产业部门对自动化人才的迫切需求。在自动化进修班之后，以清华大学为首，全国工科院校相继建立了许多自动控制系或专业。总而言之，力学研究班与自动化进修班充分体现了科学规划的要求，是我国第一次集中力量大规模培养高层次技术科学人才的尝试，也是立足国内、依靠自己力量发展技术科学的重大举措，大大推动了工程力学、自动化等专业人才培养的自主化，在我国应用力学、自动化等技术科学建制化过程中具有极其重要的地位。

第四节　中国科学技术大学近代力学系

在严济慈、钱学森、郭永怀、华罗庚等科学家的建议下，科学院采取“全院办校，所系结合”的方式创办了中国科学技术大学。1958 年 9 月 20 日，科大在北京西郊玉泉路 19 号正式开学。科大的创办是科学院贯彻科学规划的具体措施以及适应培养尖端技术人才的需要，如 1998 年 9 月 9 日钱学森在致科大朱清时校长的信中说：“回想 40 年前，国家制订了 12 年科学技术远景规划，要执行此规划需要科学与技术相结合的人才：电子计算机是半导体物理与电子技术的结合，航空航天技术是工程与力学的结合。所以成立了中国科学技术大学。”①当然，“大跃进”时代的社会环境也是催产科大的重要因素。

钱学森是国务院任命的中国科技大学筹备委员会 10 位委员之一，而且是唯一一位以科学院研究所所长的身份进入筹备委员会的委员。钱学森直接参与科大办学方针、学科与专业设置等重大事项的讨论和决策，在科大办学理念与办学模式形成过程中发挥了重要作用。科大初设 12 个系，钱学森主持力学和力学工程系的创办，确定了力学系的办学方针、专业方向及培养方案，并担任系主任，努力把力学系办成应用力学等技术科学人才培养的高地。

4.1　钱学森与科大的办学理念

在 1952 年的院系调整中，国内仿效苏联体制将大学分为文理科大学和专业性院校。在这种思想指导下，理工分离，理科与工科严格执行各自不同的培养目标，

① 钱学森：《致朱清时的信（1998 年 9 月 9 日）》，载《钱学森书信集》（10），国防工业出版社 2007 年版，第 408—409 页。

学生无法根据自己的兴趣和特长选择发展方向，使专业人才的培养大受限制。特别是，工科院校基本上根据工厂生产程序或产品类别设置专业。专业划分过细，专业课程门数又很多，并强调专业课程教学，重视基本技能与操作技术的训练，让学生较早地进入高度专业化的训练阶段，淡化了数学、物理、化学等基础科学的训练。在工业化快速推进、亟需大量工程技术专业人才的情况下，这种培养模式可以让工科毕业生较快地适应工作。但是，专业划分过细，又削弱基础科学的训练，使学生理论功底不足、知识面狭窄，给毕业以后的工作拓展和方向转移造成了很大的障碍。针对高度专业化教育的缺陷，钱伟长在《人民日报》撰文"高等工业学校的培养目标问题"，认为高等院校的教学工作主要是"培养学生如何在已经获得的知识基础上去获得更多的知识，组织这些知识为某一个特定的生产服务"，应该"精简课程数量、加强基础训练，加强学生独立工作能力的培养"。[①]言下之意，过分专业化的工程师培养模式无法适应现代科技和工业发展对人才能力的要求。

根据尖端科学技术对人才能力的要求，科大提出以培养"理工结合"的新型人才为办学目标，在培养理念、课程设置、教学方法等方面与其他高校有着明显的差别。钱学森直接参与科大的创办，学校应设置哪些系、哪些专业，开设哪些课程，甚至请谁来授课，都有他的意见和建议。1959 年 5 月 26 日，钱学森在《人民日报》发表文章"中国科学技术大学里的基础课"，道出了科大的办学目标、培养模式及其与国内其他高校的主要区别。

在课程设置上，科大特别突出基础科学课程的份量。钱学森介绍说，科大的基础课程分为两类，一类是基础理论如物理、化学和数学，另一类是基础技术如机械设计等。这些基础理论学时占各专业总学时的 1/3 左右，而技术基础的学时也占总学时的百分之十几。"基础理论的比重在科技大学比一般工科学院要高，而基础技术的比重又比在一般理科专业要高"。也就是科大既重视基础科学课程的教学，又强调实验技能的训练。

为何科大如此重视基础科学的训练呢？钱学森指出，科大的学生"将来要从事于新科学、新技术的研究"，"在尚未完全开辟的领域里去走前人还没有走过的道路"。这些工作是探索性质的，必须充分利用人类通过总结所得到的自然界的一般规律。所以，不能仅仅知道自然界的一般规律，而是必须"充分掌握这些规律，把规律的里里外外、前前后后都看得清清楚楚，摸得透。只有这样才能具有锐利的眼光，能在复杂的事物中分析出核心问题，不被形形色色的假象所蒙蔽，从而辨别真伪"。譬如，科大在物理、化学课程教学中除了知识，还"注意和各个专

---

① 钱伟长：《高等工业学校的培养目标问题》，《人民日报》1957 年 1 月 31 日。

业相结合，更注重这两门基础理论的系统性，要给学生一个清晰的全面概念和图像，要他们成为这两门学科的主人”，注意“养成学生分析事物现象的观点和方法；在独立思考方面，有所锻炼”。对于化学课程，即使在非化学专业里也是非常重视的。这是出于何种考虑呢？钱学森解释说：“知道新科学、新技术的研究和发展是和新材料分不开的，而要对不断出现的新材料，能了解和掌握它们的性质，或是要合理地提出还不存在的新材料要求，那就要比较系统的和全面的化学理论知识。”科大的数学课程也比较全面，“它的内容不比解放前大学数学专业所学的整个数学课少”。而且，数学的教学法与以前国内大学数学专业也大不相同：“首先是唯物主义的，我们对每一个数学概念都从它来源讲起，说明它不是凭空掉下来的；在这里我们都引用实际科学问题的例子来解说。一个概念引入了之后，我们就进行系统的、严格的论证和发展，使学生有一个巩固的基础，即使他们在将来遇到了以前没有学过的数学工具，也能靠自己来掌握它。自然，我们在注重数学概念的同时，也没有忘了我们不是为数学而数学，我们学数学是为了作具体计算；所以在每讲了一个数学的概念和系统论证之后，我们还通过具体的实际问题来解说使用这个理论的方法。我们认为这样能把数学的理论与实践相结合起来，让学生既充分掌握理论，也能灵活地使用理论，进行计算和分析。”

科大的基础技术课程包括工程画、机械原理、材料力学和机械设计课程，也有包括电工和电子技术的电工电子学课程等。科大重视这些课程的训练，因为“在新科学、新技术的研究工作中，常常要设计比较复杂的实验装置，例如研究高速气动力问题就得有超声速的风洞，研究基本粒子物理就得有高能加速器；要设计这些设备就不能用敲敲打打的办法，必需进行比较正规的技术设计”。开设这部分课程的目的，在于让学生具备相当的工程基础知识和工程技术能力。

具体到力学和力学工程系，钱学森也曾解释重视基础理论和基础技术的原因，他说：“由于工农业生产的日益发展——特别是某些尖端技术的发展，力学工作者为了能够解决生产中所提出的问题，就必需考虑到许多具有十分复杂的物理、化学变化的现象，这就要求力学工作者充分利用目前物理、化学上已有的成果。这种为尖端技术服务的工作也逐渐发展成为力学的新分支。而另一方面这些新的力学分支的发展成长和实验技术的进步也是分不开的，而这些实验技术也都是利用了现代物理、化学上的许多成就建立起来的。这就说明要掌握这些新的力学分支是与良好的物理、化学知识基础分不开的”。[①]

---

① 钱学森：《力学的现状及其发展方向》，载侯建国主编：《钱学森与中国科学技术大学》，中国科学技术大学出版社 2008 年版，第 8—10 页。

总之，科大重视基础理论和基础技术的培养模式，目的是使学生具有扎实、宽厚的基础理论知识与实验技能，培养分析、解决问题的能力，为成为开拓新科学、新技术的技术科学家做准备，而非培养直接面向工程技术的工程师。这种理念和模式在理工分离的专业化教育体制一统天下的时代不愧为一大创举，也是科大与其他综合性大学和专业性院校的最大区别。

这种理工结合、重视基础理论和基础技术的培养理念，得到许多科学家的赞同，不仅在钱学森主持创办的力学和力学工程系，而且在其他系和专业也得到了贯彻。科大初设 13 个系 41 个专业，尤其是核物理、空间技术、计算机技术、无线电电子学、自动化、化学物理、近代力学以及其他相关系和专业，当时都属于理工结合的前沿领域。郭永怀主持创办的化学物理系，与力学系有着同样的办学理念和目标。他为化学物理系学生设置的基础课程中有 6 个学期的高等数学和 4 个学期的普通物理课，还有无机、分析、有机、物化四门化学课程，足见基础之厚实。①据 1959 级学生吕文朝回忆，物理热工系主任吴仲华在与 1959 级新生见面会上提出了培养"研究工程师"的概念。他评述说："研究"两字，道出了科大与一般工科院校的区别，体现了科大的特色。②这与钱学森所主张的培养技术科学家的理念实质上是一致的。生物物理系 1958 级学生王大成对科大的办学理念和培养模式也有着深切的感受。他说，系主任贝时璋"要求我们要有广博的学科知识，不仅要掌握现代生物学知识，还需具有丰厚的数理化基础和一定的技术训练。我们在入学的前两年，数学、物理、化学都是跟着数学系、物理系、化学系一起上课，还要加上电工学、电子学；生物学课程从分子、细胞、组织开到生理、生化，从动物到植物，真有些应接不暇。但在以后的实际工作中，确实感到受益匪浅，能较好地适应边缘性学科的多门类知识要求。我自己毕业后工作岗位换过两三次，性质和所要求的知识范畴都有显著差异，但都能较快适应并有所成效，相当程度就得益于大学这几年的广泛的学科知识培训"。③可见，科大开设的大部分专业都具有重视基础、理工结合的特点，让学生"从自然科学一直到生产实践，都要懂得"，既具有驾驭科学理论的能力，又熟悉工程实践，力求养成独立提炼问题和解决问题的本领。对照科大各学系的培养目标与课程设置，不难看出它们采纳了钱学森的"论技术科学"、"工程与工程科学"等文章中关于技术科学人才培养的理念，核心是"科学与技术相结合，理与工相结合"。诚如科大原教务处处长任之恕所言，钱学森"理工结合"的教

---

① 辛厚文：《郭永怀系主任的教学思想指引中国科大化学物理系阔步前进》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009 年，第 47—50 页。

② 吕文朝：《吴仲华先生教我做学问》，《科学时报》2008 年 6 月 10 日。

③ 转引自王谷岩：《贝时璋传》，科学出版社 2010 年版，第 220—221 页。

学思想影响了整个科大。[①]总之,科大是一所“学苏联、理工分家”以后恢复“理工结合”,瞄准世界科学技术发展前沿,以培养新兴、前沿、交叉学科等领域的尖端科技人才为目标的新型理工科大学,《人民日报》称她的创办为“我国教育史和科学史上的一项重大事件”。[②]力学和力学工程系则是钱学森推行技术科学教育思想的一块试验田。

4.2 确定力学和力学工程系的专业方向与培养方案

在参与筹建科大的同时,钱学森主持创办了力学和力学工程系(1961 年 5 月更名为近代力学系),亲自确定培养目标、专业方向和课程设置。另外,他和郭永怀一起创办了化学物理系(郭永怀担任系主任),在该系设置高速化学反应动力学、物理力学专业。从担任系主任起,直至“文革”前夕,钱学森主持和指导力学系的工作将近 8 年时间,为培养尖端科学技术人才采取了许多切实有效的措施。

高瞻远瞩,面向未来,设置新专业,培育人才,是钱学森一贯的思想理念。为适应国家研制“两弹一星”的需要,结合力学所承担“上天”(航天)、“入地”(爆破)的科研任务,钱学森与郭永怀等决定在力学和力学工程系设立四个专业:高速空气动力学、高温固体力学、化学流体力学与土和岩石力学。这些专业都是新兴学科,它们各自肩负着什么样的任务呢?钱学森一一为各个专业确定服务对象和人才培养目标。他指出:高速空气动力学专业,“培养能解决高速和超高速飞行器设计中气动力学问题的干部”;高温固体力学专业,“培养能解决高速和超高速飞行器设计中高温机件和结构问题的干部”;土及岩石力学专业,“培养能解决高速度地完成巨型土和岩石工程问题的干部”;为了解决超高速、高压的燃烧问题,要利用流体力学、气动力学及化学反应的知识,把它们结合起来,形成一门新的力学学科——化学流体力学,这样就可以为性能强大的发动机提供设计的理论依据,这个专业的目的是“培养化学流体力学的干部”。[③]对照“论技术科学”一文,这些专业都是钱学森在文中提出的与力学相关的新兴学科或方向。

1959 年 4 月 23 日,科大招生工作委员会编印各系的专业介绍,其中有钱学森为力学系撰写的《力学的现状及其发展方向》以及郭永怀为化学物理系撰写的《化学物理的现状及发展远景》。为了让社会了解这些新兴专业,钱学森简明扼要地介绍了高速空气动力学、高温固体力学、岩石力学及土动力学、化学流体力学的研究

---

① 王卉、张巧玲、潘希:《从物理力学起落看钱学森学术思想》,《科学时报》2009 年 11 月 12 日。

② 《我国教育史和科学史上的一项重大事件》,《人民日报》1958 年 9 月 21 日。

③ 钱学森:《力学和力学工程系介绍》,载侯建国主编:《钱学森与中国科学技术大学》,中国科学技术大学出版社 2008 年版,第 6—7 页。

内容和发展趋势，向大家描绘出美好的发展前景。①当时，许多高中学生除了仰慕钱学森的学术成就和社会声望外，就是看了他撰写的专业介绍而深受激励，毅然决定报考科大力学和力学工程系的。1959 年 12 月 21 日，力学系召开教学研究会议。会议之前，钱学森向全系学生介绍力学系四个专业的基本内容，指出同学们毕业后要干的事业都是“前无古人”的。同学们备受鼓舞，激情澎湃，更加热爱自己所学的专业。②

这些新专业在国内其他高校从未开设过，但它们不是闭门造车和主观意志的产物。它们既反映应用力学等技术科学内在发展的逻辑，又结合国家经济建设和国防建设的需要。这里以化学流体力学为例。1964 年 3 月 10 日，钱学森在一次以国防技术为主题的会议上做了“燃烧、烧蚀和化学流体力学”的发言，内容包括化学流体力学的展望、固体与固液推进剂的燃烧以及防热材料的烧蚀、液体火箭发动机的稳态燃烧、火箭发动机的燃烧振荡问题等。他说，化学流体力学与国防建设和经济建设的关系极为密切。在国防建设方面，诸如固体推进剂的燃烧问题、固液推进剂的燃烧问题、液固推进剂的燃烧问题、防热材料的烧蚀问题、液体火箭发动机燃烧室里的稳态燃烧问题以及燃烧稳定性问题等。在民用生产方面，许多像化工、冶金工业里的化学反应，将它叫做化学反应工程学，也就是化学反应器的设计问题，包括各种炉子、锅炉、冶金用的高炉等。还有强化化工生产或强化冶金生产的液态化技术。对于这些技术问题，化学流体力学的理论是非常有用处的。③可见，化学流体力学既有丰富的学科内容，又有广泛的实际用途，是一门非常重要的学科。由此及彼，我们可以从中领略到钱学森为力学系设置高速空气动力学、化学流体力学等四个专业的前瞻性思想。对比清华大学力学研究班，科大力学系的专业设置更能体现面向科技前沿、理工结合的特点。力学研究班只是沿袭传统习惯设置固体力学和流体力学两个专业，没有开设新颖前沿的专业方向。科大力学系的专业设置则较好地反映出钱学森对技术科学发展趋势的深刻认识和准确判断，并紧密结合国家经济建设与国防建设的实际需要，形成了全新的专业人才培养体系，在我国科学教育发展史上是一次重大的创新。

每个人的经历和学识不一样，认识和主张自然也不一样，再加上当时政治环境

---

① 钱学森:《力学的现状及其发展方向》，载侯建国主编:《钱学森与中国科学技术大学》，中国科学技术大学出版社 2008 年版，第 8—10 页。

② 《力学系钱学森主任召开教学研究会议》，《科大校刊》1959 年 12 月 25 日；侯建国主编:《钱学森与中国科学技术大学》，中国科学技术大学出版社 2008 年版，第 142 页。

③ 《燃烧、烧蚀和化学流体力学》，载侯建国主编:《钱学森与中国科学技术大学》，中国科学技术大学出版社 2008 年版，第 46—61 页。

变幻不定，致使力学系出现了一些出乎钱学森意料的变动，但他据理力争，设法维持力学系办学方向与专业设置的稳定。1961年5月29日，根据中央提出的"调整、巩固、充实、提高"八字方针，科大将全校原有的13个系46个专业合并为12个系30个专业，将工程热物理系与力学和力学工程系合并，更名为近代力学系，工程热物理系变为力学系喷气动力热物理专业，主要培养喷气发动机热物理方面的科研干部。实际上，这次调整将化学流体力学专业取消了，土和岩石力学专业也改为爆炸力学专业。根据《钱学森与中国科学技术大学》一书提供的1958级、1959级学生教学计划（这份计划根据1961年6月第4次修订），力学系的四个专业改为高速空气动力学、高温固体力学、喷气动力热物理、爆炸力学。[①]随后，又发生了多次变动。

1962年10月10日，钱学森给科大武汝扬副校长写信，对近代力学系的专业调整提出意见，言辞坦率，态度坚决。他说："1.近代力学系在第一方案和第二方案都是一样，有四个专业即物理力学、高温固体力学、高速空气动力学、喷气动力热物理；从现有专业中取消了爆炸力学专业。我们以前曾经如此提过，那是因为当时院及分院的调整方案中将把我所的爆破研究调出到中南分院的一个新所，及哈尔滨土建所。但现在这个方案行不通，我所仍将发展爆破研究工作，是我所支援农业的一个重点；所以爆破力学这个专业不宜取消。能不能仍列近代力学系中？共列五个专业。2.我对科技大学建校方针有些看法，希望能在适当场合有机会谈一谈。但半年来一直没有机会。我所郭永怀同志也感有话没机会说。我们很愿意用一部分六分之五的时间来干这件事，不知有没有可能？"[②]1963年4月，教育部要求科大调整系和专业，建议近代力学系高速空气动力学专业改名为空气动力学专业，喷气动力热物理专业改名为热物理专业。钱学森经与郭永怀、吴仲华商议后，不同意改变这两个专业的名称，认为"空气动力学"不足以反映科大的特点，要求保留原有名称，以利该专业的发展。不过，同意将高温固体力学专业改名为飞行器结构力学与强度计算专业。6月3日，科大党委书记刘达到力学所，与钱学森、郭永怀等11位科学家就学校教学、系与专业设置等重大问题进行座谈。1964年，在学校专业调整中，有人建议取消化学物理系物理力学专业，钱学森对此不以为然。9月29日，他写信给刘达书记，坚持保留物理力学专业，保留专业教师队伍，认为将该专业从化学系调整到技术物理系更为合适。他在信中说："听说科大在进行教研室的调

① 《力学和力学工程系教学计划》，载侯建国主编：《钱学森与中国科学技术大学》，中国科学技术大学出版社2008年版，第112—119页。

② 《钱学森致武汝扬（1962年10月10日）》，载侯建国主编：《钱学森与中国科学技术大学》，中国科学技术大学出版社2008年版，第78页。

整，我想向您谈谈我对物理力学这方面的看法：(1)物理力学历经58级、59级、60级三班，已有一定的贮备，所以未在61级学生中留物理力学的。但这不是说物理力学就此停止不办了，62级也许还得开物理力学的班。(2)因此现有的物理力学教师不宜分散，应组成一个物理力学教研室。教师们如果教学工作之余还有时间，我想可以参加力学研究所物理力学研究室(四室)的研究工作。(3)物理力学专业放在化学系不太合适，应该放在技术物理系中”。[①]最后，科大保留了物理力学专业，将其调整到技术物理系。

为了培养尖端技术人才，钱学森为力学系制定了详尽具体的培养方案、教学计划，建立了完善的教学体系。1959年12月21日，钱学森召开教学研究会议，讨论教学大纲，有严济慈、吴文俊、许国志、沈志荣等任课教师参加。会议主要研究基础课程如何适应力学专业的要求，钱学森建议根据力学系开设专业的特点和要求制定教学大纲。1960年6月3日，在钱学森、郭永怀的建议下，力学和力学工程系、化学物理系分别与科学院力学所、化学所研究人员座谈，研究教学事宜。1961年6月23日，钱学森主持有力学所各研究室主任参加的近代力学系教学计划的第二次修订会议。据统计，在钱学森主持和指导下，1958年至1963年曾五次修订力学系的教学计划。经过修订，每个专业的课程都较好地体现出力学学科发展的要求，这里以高速空气动力学专业为例。1957年，郭永怀与研究生张涵信讨论他的研究方向时介绍了空气动力学的发展历史与现状。他说，气体力学的发展有三个阶段：第一阶段是低速空气动力学，基础是牛顿力学；第二阶段是高速空气动力学，基础是牛顿力学、热力学；现在处于第三阶段即超高速空气动力学，基础是牛顿力学、热力学和物理化学。因为这个阶段飞行速度高，气体的温度高，有化学反应。[②]在这里，郭永怀总结概括出空气动力学不同发展阶段的特点及其对研究者知识结构的要求。为了适应高速空气动力学的发展，高速空气动力学专业除了开设数学、物理、化学和力学等基础科学课程以及电工电子学、机械设计、工程画、测量技术等基础技术课程外，还开设热力学与分子运动论等专门物理课程，高超声速空气动力学、黏性流体力学、火箭技术概论、理想气体动力学等专业课程，较好地贯彻了既重视经典内容，又注意学科前沿，以及科学与工程、理论与实践结合的理念。

对于力学系的教学工作，钱学森也是安排得井然有序。根据他的意见，力学系前二年半开设公共基础课程(如高等数学、普通物理、普通化学)与技术基础课程

---

① 《钱学森致刘达(1964年9月29日)》，载侯建国主编：《钱学森与中国科学技术大学》，中国科学技术大学出版社2008年版，第79页。

② 张涵信：《难忘的记忆——怀念导师郭永怀》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009年，第38—41页。

（如机械制图、机械设计原理与机械设计、电工电子学等）。他出面四处邀请、聘用合适的任课教师来力学系授课。他聘请数学家吴文俊，物理学家严济慈、钱临照，化学家蒋丽金，为力学系第一届学生讲授高等数学、普通物理学、普通化学等基础课程。这些学者都是当时各自领域一流的专家，“在学术方面都是很有成就的，知识面也广”，“对学科都有比较成熟和特有的看法；学生能和他们经常接触会得到深刻的启发”。[①]以至于钱学森在力学系全系大会上宣布任课教师名单时，显得踌躇满志而且十分兴奋，高声说道：“我把科学院的大炮都给你们调来了！”[②]强大的师资阵容，保证了力学系基础课程的教学达到了与国内著名文理科综合性大学看齐的水准。

从三年级下学期起，力学系学生开始学习专业基础课程和专业课程。钱学森动员组织了几乎整个力学所的专家到力学系进行专业基础课和专业课的教学，如林同骥讲授高超声速空气动力学，郭永怀讲授黏性流体力学，卞荫贵讲授气体动力学，李敏华讲授塑性力学，还有吴仲华、郑哲敏、吴承康、胡海昌、钟万勰、潘良儒、林鸿荪等，都是钱学森亲自挑选而来的。这些课程很多都没有现成的教材，授课专家就自己动手编写教材，把各学科最新的研究进展融入授课之中。虽然任课专家自身都有繁重的科研任务，但为国家培养尖端技术人才，他们都将在科大力学系授课视为一项光荣而神圣的任务，如同钱学森所说：“为祖国迅速地培养一批尖端科学的青年干部，这是一项光荣的任务，再多白一些头发又算什么？”[③]

这些老师在实施专业基础课程教学的同时，潜移默化地把学生引入学科前沿，如郭永怀讲授的边界层理论鲜明地体现了既重基础与经典，又注意尖端与前沿的精神。他在回顾流体力学基本方程和详细讲述低速边界层基本理论之后，便讲授低速湍流边界层和高速层流与湍流边界层理论，把同学们直接带入高速飞行面临的前沿科学领域。这门课程讲义于2008年整理出版，该书编者说：“在短短的一百多页中，郭先生严密地论证和推导了边界层方程，讲述了湍流的基本特点及其在边界层方程式中的体现，介绍了基本的解法和典型解以及近似解法，指出了它们的适用范围。就其涉及内容的广度和深度而言，‘讲义’已经超出教材的范围而成为一本学习和随时参考的专著了。”“虽然著于四十余年前，但即使在计算技术高度发展的今天，仍不失其作为重要著作的价值。”[④]讲义还体现出郭永怀一贯的严谨精炼作风与求实精神。郭永怀1957年曾在北大数学力学系讲授高速边界层理论，听过

---

①③　钱学森：《中国科学技术大学里的基础课》，《人民日报》1959年5月26日。

②　张瑜：《钱学森先生改变和影响了我的人生轨迹》，载中国科学院院士工作局编：《钱学森先生诞辰100周年纪念文集》，科学出版社2012年版，第559—573页。

④　郭永怀：《边界层理论讲义》，中国科学技术大学出版社2008年版。

这门课程的温功碧后来也讲授类似的课程，并将保存完好的郭永怀讲课笔记拿出来参考，进而体会到他的取材"是高速边界层理论中最基本、最精粹的内容，学生掌握了这些内容基本上就可以举一反三"。[①]李敏华为高温固体力学专业讲授塑性力学，她精心编写了《塑性力学讲义》。自1960年开始讲授，至1966年"文革"前夕结束，历时6年，使许多学生获得了这门科学的基础知识。[②]至第四学年时，钱学森为学生讲授火箭技术概论，授课讲义由他亲手编写。可以说，这些与研究紧密结合、反应力学学科发展趋势的新课程，让力学系学生在大学阶段就接触到最前沿的知识，开拓了学术视野，在全国独树一帜。

钱学森非常重视计算机在力学工作中的作用，在力学系1958级、1959级学生中开设计算技术课程。这门课程在四年级的下学期（每周三学时）和五年级的上学期（每周五学时）讲授，共136时，目的是让学生具备使用快速电子计算机（数值机）解决问题的能力。教授内容包括计算机的历史、现况及其前景，计算数学，电子计算机。具体有计算机的种类及其一般结构，计算机的语言特点，二进位、负数及指令表达方法，104计算机的介绍（包括其逻辑设计、控制系统、计算器、输入输出装置、初始输入、主存储及附存储系统、检验过程等）等。[③]授课教师为科大计算机系的年青教师钟津立和林进洋。

4.3　钱学森登堂授课，指导学生研究方法

1961年9月18日至1962年1月8日，钱学森亲自为力学系1958级、1959级学生讲授火箭技术概论，时间为一个学期，共十三讲，每周一次，每次三节课。这门课程"从星际航行的角度来介绍火箭技术"，让学生"在进入专业课学习时，对火箭技术有一个较全面的理解，能知道自己专业在整个事业中的位置"。课程内容包括：一、星际航行与宇宙航行；二、火箭发动机原理；三、火箭发动机的类型及其发展现况；四、多级火箭的设计问题；五、星际航行的起飞问题；六、原子火箭及电火箭发动机；七、星际航道的问题；八、控制问题；九、星际航行中的通讯；十、再入大气问题；十一、太空环境及其对人的影响；十二、星际飞船的设计问题；十三、星际飞船的能源；十四、运载火箭的回收（未讲授）。[④]

---

① 温功碧：《高风亮节　永驻我心——忆跟郭永怀先生工作的岁月》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009年，第58—61页。

② 刘正常：《庆贺与回忆》，载李和娣主编：《固体力学进展及应用——庆贺李敏华院士90华诞文集》，科学出版社2007年版，第346—350页。

③ 《力学系"计算技术"课的教学大纲（草案）》，上海交通大学钱学森图书馆。

④ 钱学森：《"火箭技术概论"手稿及讲义》，载侯建国主编：《钱学森与中国科学技术大学》，中国科学技术大学出版社2008年版，第99—334页。

钱学森具有20多年喷气推进研究的丰富经验，而且在二战结束后考察过欧洲火箭技术，参与为美国军方起草咨询报告《迈向新高度》。火箭技术概论的讲稿是在这些研究和工作经验基础上总结编写而成的，"蝇头小楷，非常规整、秀气"。当时，钱学森虽然重任在肩，但仍按照教学大纲的要求讲完了整个课程，只有一次变动上课时间。上课地点在科学院自动化所四楼大阶梯教室，听课的不仅有力学系1958级、1959级两个年级高速空气动力学、飞行器结构力学和喷气动力热物理三个专业14个班的学生，还有北大、清华、北航、北京工业学院等高校的教师以及科学院力学所、自动化所、物理所、电子所的研究人员，总人数约有500多人。自动化所阶梯教室只有400个座位，来听课的力学所等单位的专家和研究人员不得不自带凳子和马扎，加放在教室走廊中间和边角位置。1958级高速空气动力学专业学生张瑜负责检查听课证，并迎候钱学森。他清楚地记得钱学森来授课的情形：钱学森先生的"车总是准时到达，我们在他的车门口附近迎接他，并陪同他步入教室，走向讲台。每次他来时，总有一位不知是秘书还是警卫的同志陪同，见到我们后会意地向我们点头微笑，然后放心地让我们引领钱学森先生"。"钱先生总是面带笑容，和蔼、谦虚，充满友善，同时也蕴含着坚定、刚毅和自信。课后，我们俩负责把钱先生送回到汽车附近。还是那位秘书或警卫，向我们点头示意道别。"①

每次上课，钱学森先用几分钟讲述宏观背景，然后外衣一脱，旋即开讲，整整三个小时。这门课程不仅把大家领进充满神奇色彩的航天领域，接触到国内书本上前所未有的知识，更为重要的是让大家从中学到了从事科研工作必备的作风和方法。时隔40多年，聆听过这门课程的学生对此仍念念不忘。1958级学生黄吉虎回忆说："听钱先生的课真是一种幸福的享受。钱先生讲课时声音洪亮，一口标准的北京音，语言精炼。他对授课的重点、疑点和难点，都讲得十分清楚。四块大黑板，从左到右，板书非常规矩。数学推导严谨、漂亮，他经常不看讲稿，熟练地板书，从来没有因推导公式卡壳。加之所讲内容的先进性、前瞻性，使所有听课者都听得十分专注、投入。"②张瑜说：钱学森先生的课"讲得实在是太好了，无可挑剔，无懈可击。无论从课程内容的先进性、前瞻性，到丰富的信息量，还是从逻辑的严谨，语言的简洁、准确和运用技巧，到工整、漂亮的板书与书法，均令人赞叹！我有生以来听著名科学家、专家和名师的课很多，但从未见过讲课讲得这么好的，即使单从授课方法与教学法的角度来说，也堪称出类拔萃。应当说，钱学森先生的授课，优秀

---

① 张瑜：《钱学森先生改变和影响了我的人生轨迹》，载中国科学院院士工作局编：《钱学森先生诞辰100周年纪念文集》，科学出版社2012年版，第559—573页。

② 黄吉虎：《钱学森与中国科大力学系》，载中国科学院院士工作局编：《钱学森先生诞辰100周年纪念文集》，科学出版社2012年版，第460—475页。

教育家与杰出科学家的风范并存。这也是难能可贵，很不寻常的。听他的课是学习，又是享受，从中我们还能学到许多课程本身以外的东西”。[①]1959级的吴有生也回忆说：“这门课，实际上是我们上大学期间第一门系统性的工程课。我们上大学学的都是专项、单科，都是学的一门门具体的一个专项的知识问题。就是这门课，让我第一次懂得了一个工程问题的系统性。‘火箭技术概论’内容太丰富了……它让我在大学期间认识到，要搞一项系统性的工程，它覆盖的知识面远远不止我们学到的那些力学问题，知识范围太宽了。这门课，给我的影响是蛮大的，促使我走到工作岗位上以后，考虑不仅仅是过去学的一些东西，而是，凡是你介入的领域里的方方面面，你都应该关心，要掌握一定程度的知识。先生的课给我的动力是相当大的，这个一言难尽。”[②]

每次讲课结束时，钱学森都会给同学们布置一些思考题，让大家课后思考，以培养干一行爱一行和善于思考的职业习惯。钱学森还特别注意听课者的感受，在大阶梯教室，他专门安排人员检验自己的板书在最后一排是否看得清，自己的声音在最后一排是否听得清。据1958级的徐建中回忆，一次下课稍早，钱学森让大家对他的讲课提提意见，自己就写过一张纸条提出：辅导老师出的课后习题有些一再改动，同学们做了一遍又一遍，负担很大。钱学森想了想后告诉大家，不要责怪辅导老师，习题是他自己出的。一开始觉得题目各方面没有什么问题，后来再想想，觉得有些条件不太好、有些地方不够准确，于是就有了改动。“这样再三改动给同学们带来了不便，责任由我来负。”徐建中感慨地说，钱学森在繁忙的科研领导工作之余为学生布置课后习题殚精竭虑的精神，一直深深地影响着他。

有一次考试，力学系几乎所有的同学都不会忘记其间发生的一件事情。张德良回忆说：“考试中，有一问是第一宇宙速度是多少？有一个同学回答，第一宇宙速度是7.8米/秒，钱先生就非常生气，就说这个基本概念不对，自行车都比你快”。毛鸿羽记得钱学森当时说：“这个问题现在如果不提的话，以后不光是流汗的问题了，要流血了啊！”刘凌霄回忆说：“平时钱老上课都是和蔼可亲的，笑眯眯的，可那次考试后，讲评时，态度就变了，他显得非常生气，有几句话我记了一辈子，他说，古人讲，下笔千钧，你这一下相差1 000倍。下面的话就很重了：还要不要你做这个工作？你对我们这个国家、这个民族还负不负责任？说得我当时心里怦怦直跳，终生不敢忘记。”[③]在传授知识过程中，钱学森十分注意培养学生

① 张瑜：《钱学森先生改变和影响了我的人生轨迹》，载中国科学院院士工作局编：《钱学森先生诞辰100周年纪念文集》，科学出版社2012年版，第559—573页。

②③ 《中国科大1958、1959级近代力学系校友座谈回忆》，载侯建国主编：《钱学森“火箭技术概论”手稿及讲义》，中国科学技术大学出版社2008年版，第336—342页。

严谨求实的学风以及对国家民族高度负责的精神品质。

这门课程没有现成的教材，钱学森也没有提前给学生讲义，只是每次上课发上一次的讲义。据黄吉虎回忆，大致流程是这样："同学们听课时没有书本，也没有讲义，课后复习全靠课堂上的笔记。钱先生每次授课内容均由几位助教笔录，再由喻显果、雷见辉两位老师整理，再由钱先生审阅修改后，交付印刷成活页文选，一个星期后发给同学。由于课程涉及国防机密，同学们拿到的讲义都有编号，平时由班上的班干部保密委员负责保管在保密柜中，同学上课的笔记本也属于保密范畴。同学需要复习时，可以向保密委员登记借用，用后归还销借。"①每次讲课后，钱学森都在周末花大量时间修改笔记，以在下周上课时学生能够拿到上次讲课内容的讲义。1963 年，火箭技术概论讲义由科学出版社出版，定名为《星际航行概论》。钱学森将新著赠给力学系 1958 级、1959 级学生，人手一册。该书是我国第一部关于航天科学技术的专著，与钱学森在清华大学工程力学研究班上的"水动力学讲义"、在国防部五院讲授"导弹概论"的讲义，是钱学森回国后学术成果的代表。

1962 年 9 月，钱学森开始为化学物理系物理力学专业 1958 级、1959 级学生讲授物理力学，时间为两学期。据崔季平回忆，1962 年物理力学专业三年级学生该上专业课程了，郭永怀派崔季平去，但崔季平发现此时的相关研究支持还不够，很是着急。钱学森对他说："你们不用害怕，有我呢，讲义早就准备好了。"钱学森还把以前的研究人员召集起来，组成小组，包括专业课、辅导课在内的课程都做了精心准备。"在科大开设火箭技术概论、物理力学等专业课程，体现了钱学森领导科学事业的一种胸怀，体现了钱老的胆识和魄力。让我折服，跟着他做事很放心。"②崔季平非常感慨地说。与火箭技术概论一样，这门课程也吸引了不少科学院各研究所的研究人员和北京高校的师生去旁听。清华大学工程热物理专业 1962 级研究生华泽钊是其中的旁听者之一，多年后他在忆及当年听课的情形时说："他十分睿智，数理基础也特强。讲课时总是把机理、本质讲得清清楚楚。我不知道他讲课前有没有写讲稿，但他是从不看讲稿的。有一次他在黑板上推演了一个公式，花了些时间，绕了弯路。但刚讲完就发现还有一条更简捷的途径，立即告诉我们。他上课决不死板，给我们许多书本上看不到的知识和人品风格，深受教育。"③

4.4 指导学生课外科研活动，传授研究方法

在传授专业知识之外，钱学森十分注意从理论到方法上对学生的科研活动进

---

① 黄吉虎：《钱学森与中国科大力学系》，载中国科学院院士工作局编：《钱学森先生诞辰 100 周年纪念文集》，科学出版社 2012 年版，第 460—475 页。

② 王卉、张巧玲、潘希：《从物理力学起落看钱学森学术思想》，《科学时报》2009 年 11 月 12 日。

③ 华泽钊：《我与清华》(三)，http://ndxy.usst.edu.cn/_about/fengcai_detail.php?No=1014。

行指导，让他们直接感受并掌握技术科学的研究方法，锻炼理论与实践结合的能力，培养创新能力。为此，力学系安排高年级学生在学校或到力学所参加科研活动，缩短学生与研究人员之间的距离。

在“大跃进”运动高潮阶段，全国高校都在大搞“科研跃进”，科大也不例外。1958年秋冬之际，学校和力学系学生成立火箭小组，研制模型火箭。作为系主任的钱学森顺势而为，充分肯定同学们勇于实践和攀登科学高峰的精神，适时参与并指导火箭小组的科研活动，多次与小组同学座谈，指导小火箭的设计、研制，有时在简易厂房，有时在系办公室。有一次，他会同郭永怀、林鸿荪一起与火箭小组同学座谈，讨论小火箭的研究活动及其将来的发展方向。当他知道火箭小组取得了初步成绩，并了解小火箭的设计、加工情况后，十分高兴，半开玩笑地对小组同学说：“你们的路子走对了，简直是‘发了科学洋财’。”对于如何改进设计，他还提出了具体的意见和建议。①火箭小组的研制活动前后历时约两年，大家理论与实践结合，动手能力和实验技能都得到了较好的锻炼。另外，在工程热物理系并入力学系成为喷气动力热物理专业之前的1959年5月，该专业同学发起研制脉冲发动机，准备向国庆十周年献礼。在研制过程中，钱学森曾两次对他们的研制活动进行直接的指导和鼓励。

1960年2月28日，科大召开第一次科研工作报告会。会上，力学系二年级学生做了关于人工降雨火箭试制工作的报告，工程热物理系学生做了脉冲式发动机试制工作的报告。随后，钱学森做了关于人工降雨火箭和脉冲式发动机试制工作的总结报告。他对同学们的科研活动给予了高度评价，认为大学二年级学生能做出这样的成果十分可喜，虽不是了不起的成就，但大家在试制过程中接触到尖端科学技术，为将来的科研打下了坚实的基础。还强调说：科学研究一定要有明确的目的性，要与国民经济密切联系，要能对人民有利。“人工降雨火箭就符合这一精神，是我校今后进行科学研究工作的方向。”②那时，全国正处于“大跃进”时期，“土法上马”、“土洋结合”的做法受到普遍推崇。但是，钱学森坚持实事求是，反对盲目跟风，反对用政治思维代替科学精神。在分组讨论时，有一位专家提出，为了降低研制成本，可以考虑将使用的超声速喷管由钢制改为水泥制或陶瓷制。钱学森对这个意见不以为然，明确表示不赞成，并说：“该洋的地方还是要洋嘛！”③

---

① 张瑜：《钱学森先生改变和影响了我的人生轨迹》，载中国科学院院士工作局编：《钱学森先生诞辰100周年纪念文集》，科学出版社2012年版，第559—573页。

② 《我校召开科学研究工作报告会》，载侯建国主编：《钱学森与中国科学技术大学》，中国科学技术大学出版社2008年版，第142—143页。

③ 张瑜：《钱学森与中国科学技术大学力学系火箭小组》，中国科学技术大学出版社2008年版，第4页。

钱学森经常利用各种机会与同学们座谈、作报告，开阔大家视野，培养科学兴趣和热情，对大家世界观与人生观的形成和进步起到了直接的引导作用。1961 年 5 月 2 日，钱学森应郭沫若校长邀请来到科大大礼堂，给师生做“关于苏联载人宇宙飞船”的专题报告。由于钱学森是力学系主任，所以力学系的学生受到优待，1958 级、1959 级、1960 级三个年级的 600 多名学生和力学系老师，全部被安排在礼堂听报告，而其他系的学生只能在教学大楼的各个教室以有线广播的方式收听报告。大礼堂 900 多个座位全部爆满，连中间走廊、乐池和台上以及大礼堂东西两侧的走廊都站满了人，不少师生希望亲眼目睹大科学家的风采。钱学森从人类对航天的向往、前人的航天活动、载人航天的动力需求，到飞行器结构的设计、试验、制造，飞行轨道的设计、发射、制导、运行和回收以及宇航员的超重、失重和空间医学等问题，有层次、有重点地作了讲解。报告中，他以当时美苏的火箭、卫星和飞船为例，分析其运行轨迹，计算出火箭的节数、每节推力的大小、飞船的重量及离开地球引力场的理想速度。报告让师生听得十分入迷，大家也对钱学森渊博的学识佩服得五体投地，充分享受了一次尖端科技知识的盛宴。报告的最后，钱学森特地对同学们提出要求，说今天的科大要为国家在未来 10 至 15 年内培养出一批高素质的尖端科学技术人才。他要求同学们勤奋学习，红专并进，团结协作，艰苦奋斗，肩负国家使命，将来为国防现代化作出贡献。[①]这年 10 月 28 日，钱学森又在科大师生大会上做“谈谈工作与学习”的报告，讲叙了一个力学工作者学习与工作的体会。他主要讲了六个方面的问题，即学习和掌握理论、掌握应用理论的手法和技巧、数量的概念、如何选择参考书、解决问题的关键在于弄清问题的机理以及重视实验技术等。[②]

钱学森既是同学们公认的举世难得的良师，又是非常严格的老师，从他建议力学系首届学生延期半年毕业以提高培养质量这件事可略窥一斑。1962 年 2 月，也就是火箭技术概论课程考试结束后，钱学森对考试结果很不满意，觉得力学系学生的数学基础不够扎实，特地向学校建议 1958 级学生补课一学期，以加强数学、力学基础。当年 12 月 24 日，科大第十次校务常务会议就力学系 1958 级学生补课一事做出结论，决定延长半年进行补课。据时任科大流体力学教研室主任的童秉纲回忆，1962 年秋冬之际，钱学森向他交待任务，谈话的背景是他认为力学系首届学生的数学、力学基础还没有达到应有的标准，决定延长半年，集中补习数学和经典力

---

① 黄吉虎：《钱学森与中国科大力学系》，载中国科学院院士工作局编：《钱学森先生诞辰 100 周年纪念文集》，科学出版社 2012 年版，第 460—475 页。

② 钱学森：《谈谈工作与学习》，载侯建国主编：《钱学森与中国科学技术大学》，中国科学技术大学出版社 2008 年版，第 25—31 页。

学这两门课。钱学森请他为200多名学生补习力学，并建议采用冯·卡门和比奥合著的《工程中的数学方法》作为参考书。[①]这本名著的序言中有这么一段话："有两种方法教学生如何把数学应用到工程问题上。第一种方法是从数学中选出一些分支，其中加入一些适当的应用上的例子，对这些内容做系统的学习；另一种方法是选出某些具有代表性的工程问题，并且通过解决这些问题来表明如何应用数学。……本书是按照第二种方法的一个尝试。"[②]童秉纲从这段话中领会到钱学森要求学生补习力学的深意，补课的关键在于引导学生学会力学研究方法，培养将给定的物理问题或工程问题转换成数学形式的能力。由此出发，童秉纲采取相应的教学方法，果不其然，效果不错。他选择的教学内容基本上是学生以前学过的，"着重补习的是关于如何从实际中来又到实际中去的理解、分析和锻炼，这对不同学习水平的学生都能听懂，都有吸引力。"这段教学经历，也启发童秉纲在后来的教研活动中采用科学的方法论。很多年以后，许多1958级学生饶有兴趣地回忆起这段令人难忘的往事。如黄吉虎说，这半年他们做了一件事：那就是怎样把一个物理问题转换成数学问题。"半年下来，光数学题就做了近三千个。虽然工作晚了半年，但对学生最大的好处是打下了扎实的数理基础，这使绝大部分同学在后来的科研工作中受益匪浅，很快成为同年龄科技工作者的拔尖人才，为'两弹一星'的成功作出了贡献"。[③]因为这个决定，1958级学生到1964年1月才毕业分配。后来，力学系对1959级、1960级学生也采取了加强数学和力学基础的措施，只不过没有延长学习年限。

进入毕业设计与论文写作阶段，为了把学生领入探究学问的门径，写出符合学术规范的毕业论文，钱学森抽空与同学们座谈，介绍做毕业论文的经验与方法。1963年3月30日，钱学森在五道口剧场就如何撰写毕业论文给全校1958级、1959级学生做专题报告，[④]结合自己做研究的经历和体会，循循善诱地指导大家如何做研究，如何写论文。言传身教之中，钱学森强调要以正确的方法论为指导，主张理论发展和工程应用结合，数学严格性和物理直观性结合，理论研究既要根据实际背景又要能指导实际问题的解决。听过报告的吴有生回忆说："这是我第一次听人讲研究工作该怎么做，更是第一次听我们这一代人所仰慕的权威专家讲切身经

---

① 童秉纲：《关于力学研究的方法论问题》，载侯建国主编：《钱学森与中国科学技术大学》，中国科学技术大学出版社2008年版，第120—123页。

② [美]冯·卡门、比奥：《工程中的数学方法》，高庆琳等译，科学出版社1959年版。

③ 黄吉虎：《回忆钱学森教授的几件事》，载侯建国主编：《钱学森与中国科学技术大学》，中国科学技术大学出版社2008年版，第138—140页。

④ 钱学森：《如何做好"毕业论文"》，载侯建国主编：《钱学森与中国科学技术大学》，中国科学技术大学出版社2008年版，第39—41页。

历与经验。他的报告在像我这样除了做习题外，尚未独立地做研究工作的学生的心中树起了一个榜样，形成了一个目标”。[①]到了6月份，钱学森专门组织举行毕业论文指导老师座谈会，就毕业论文指导问题提出建议和要求，还安排力学所几乎所有的高级研究人员指导力学系学生的毕业论文。另外，钱学森还提出了颇有影响的“三严（严肃、严密、严格）作风”，教育、影响了一代代科大学子走上科研道路。

总而言之，钱学森为科大力学系的创建和初期发展作出了奠基性贡献，也为科大的整体建设贡献了心智。科大力学系较好地贯彻了钱学森的技术科学人才培养思想，实践了“理工结合”、“教学与科研相结合”的培养理念，初步建立起新型的技术科学教育体系，成为我国著名的尖端技术人才培养基地，培育出一大批既有坚实的理论基础又有较强创新能力的技术科学人才。在钱学森亲自授过课的力学系1958级、1959级共约500名学生中，涌现出1958级的白以龙、徐建中、王自强三位中科院院士，1959级的吴有生、杜善义两位中国工程院院士。令人扼腕叹息的是，这个凝聚先进教育理念、寄托中国一流科学家理想和信念的技术科学人才培养体系，在“文革”中被污蔑为“脱离政治，脱离生产，脱离实际的不合理的为资产阶级需要服务的系科、专业设置”，遭到了摧残与蹂躏，变得面目全非。

第五节　本章结语

综上所述，钱学森技术科学教育思想的基本精神为：一是注重基础科学的训练，尤其是科学思维的训练，以收到厚积薄发的效果；二是获得必备的工程基础知识；三是注重理论联系实践，通过工程结合科学的研究训练，在参与解决实际问题的过程中成长，养成技术科学意识；四是培养为工程技术发展开辟新途径的创新意识。总之，技术科学教育的目的在于造就富有创造力的技术科学家或研究工程师，他们既掌握自然科学理论，又具备工程实际经验，还能熟练地将科学理论运用于工程技术问题的解决。清华大学工程力学研究班和中国科技大学近代力学系是技术科学教育思想的两次试验。不过，由于条件所限，工程力学研究班虽然也提倡理工结合，然而学员是在经过完整的工科专业化训练之后再来学习应用力学理论，显然在两年之内难以达到理工结合的程度。钱学森是由机械工程师成长为优秀应用力学家的，虽然也是在完整的工科训练基础上加强基础科学与应用力学理论的训练，

---

① 吴有生：《钱学森先生引领我从事科研的人生道路》，载侯建国主编：《钱学森与中国科学技术大学》，中国科学技术大学出版社2008年版，第126—127页。

但这种培养模式有其先天不足。在科大近代力学系，理工结合思想的贯彻要比前者彻底得多，这与钱学森曾在崇尚理工结合的加州理工学院长期学习和工作的经历有着直接关系。科大近代力学系的培养模式不只是钱学森对自己经历的总结，还是在对现代科学技术发展趋势总体把握的基础上总结而来的。在苏式专业化教育体制一统天下的环境下，科大近代力学系的培养体系无疑是钱学森针对前者结症开出的一纸处方，从而开辟技术科学教育的新园地，被誉为中国科学教育的样板。

历史已经证明，钱学森技术科学教育思想适应现代科学技术发展趋势。当前，科学技术进步日新月异，特别是理工结合型高新技术的飞速发展，不断给技术科学注入新的活力，也向技术科学提出新的挑战。这种趋势表明，技术科学教育思想仍然具有旺盛的生命力，值得继承和创新。为了促进学科之间交叉融合，尤其是促进技术科学与高新技术之间的交叉融合，1998 年中国科技大学在力学和机械工程系、精密机械与精密仪器系以及热科学和能源工程系的基础上成立工程科学学院，坚持“科学与技术相结合，理与工相结合”，以“面向科技前沿、重基础、宽口径地培养研究型科技人才”作为办院方针。

第七章　组建技术科学学术共同体

——以中国力学学会为中心

近代科学革命以来，科学的发展主要依靠科学组织的推动。一方面，科学家在各自所属的科学机构开展研究工作，另一方面，各个学科的科学共同体给科学家提供学习、交流和探讨的机会，推动科学向纵深发展。科学共同体或学术共同体在推动科学发展方面一直发挥着十分重要的作用。“科学共同体”这个概念最早由波拉尼1951年提出，他说：现代的科学家不可能孤立地开展研究工作，“他必须在各种体制的结构中占据一个确定的位置。一个化学家成为研究化学的专门职业的一个成员；一个动物学家、一个数学家或者一个心理学家，每一个人都属于一个专门化了的科学家的特定集团。科学家的这些不同的集团共同组成了科学共同体。”[①]1962年，科学哲学家库恩在《科学革命的结构》一书中探讨科学发展规律时也涉及“科学共同体”一词，并将其首创的“范式”概念与“科学共同体”联系起来，认为范式就是科学共同体的成员对科学的基本问题共有的看法。[②]这里的“范式”虽缺乏明确的定义，但包括的主要内容是认识的标准，也就是库恩所提到的世界观、概念、方法、实验仪器和实验程序等。1974年，库恩对“科学共同体”给出了比较全面的定义：“科学共同体是由一些科学专业的实际工作者所组成的。他们由他们所受教育和见习训练中的共同因素结合一起，他们自认为，也被人认为专门探索一些共同的目标，也包括培养自己的接班人。这种共同体具有这样一些特点：内部交流比较充分，专业方面的看法也比较一致。同一共同体成员很大程度上吸收同样的文献，引出类似的教训。不同的共同体总

---

① 转引自刘珺珺：《科学社会学》，上海科技教育出版社2009年版，第116页。

② ［美］托马斯·库恩：《科学革命的结构》，金吾伦、胡新和译，北京大学出版社2003年版。

是注意不同的问题，所以超出群体界线进行专业交流就很困难，常常引起误会，勉强进行还会造成严重分歧。"①可见，科学共同体在科学发展过程中发挥了不可或缺的作用，所以科学后发国家在建设科学事业过程中，常常将建立科学共同体作为科学制度化建设的重要内容。

1950年代初期，我国还没有应用力学等技术科学方面的科学共同体。随着北大数学力学专业的建立，科学规划将力学列为重点发展的学科，以及国家级研究机构科学院力学所的成立，表明力学不再是物理学的分支学科，而是取得了独立的学科地位。另外，全国许多综合性大学和工科院校中设有理论力学、材料力学、结构力学、水力学、空气动力学等力学性质的教研机构，聚集了不少力学工作者。尽快将这些分散的研究人员组织起来，围绕国家任务开展研究，促进力学等学科的快速发展，是十分必要的，也是非常迫切的。周培源、钱学森、钱伟长、郭永怀等力学家都曾有在西方国家学习和研究的经历，对于科学共同体对科学发展的促进作用有着切身体会。在他们的共同倡议和组织下，成立了中国技术科学界的学术共同体——中国力学学会。此后，中国力学学会在推动应用力学等技术科学的建立和发展方面发挥了十分重要的作用。

第一节　中国力学学会的成立

1.1　第一次全国力学学术报告会的大致过程

在中国力学学会成立之前，国内从未举办过全国性的力学会议。为推动力学界的学术交流，在科学院数学物理学化学部和技术科学部发起和组织下，1957年2月5日至10日在北京新侨饭店举行了第一次全国力学学术报告会。来自各地高等学校、产业部门、国防部门以及科学院有关研究所的200多名代表和论文作者与会。这次会议是全国力学界的首次大聚集，又是中国力学界与西方力学界交流已隔绝多年的情况下举办的，特别是还有周培源、钱学森、钱伟长、郭永怀等力学界领军人物的号召和组织，具有很强的感召力和吸引力。国内大批正在成长的年青力学人员迫切希望与刚从西方归国的著名力学家请益切磋，因而吸引了大量与会人员，使这次会议成为具有重要历史意义的学术交流盛会。曾参加过这次会议的何

---

① [美]托马斯·库恩：《必要的张力——科学的传统和变革文选》，范岱年、纪树立译，北京大学出版社2004年版，第288—289页。

友声回忆说：当时清华大学力学研究班的学员刚从全国各地抽调来京学习，其中有不少人曾在力学教学和科研方面有过一些训练，对于这样的学术盛会非常渴望参加。但是，他们既非会议代表，也没有任何单位指派，能否参加，心存疑虑。经请示力学研究班领导后，获得同意。“力学班学员们，特别是那些辅导教师无不喜出望外，我也是其中的一个。我是学造船的，对力学是门外汉，但与会几天，真让我开了眼界。在那个年代，全国性的学术会议很少，学术讨论的风气也不浓，参加那些活动让我感受甚深。”①因为，一来让学员亲眼目睹了高水平学术会议的盛况，了解了力学的研究进展与发展趋势；二来学员可以当面向著名力学家请教疑难问题，交流学术研究经验。

在2月5日的开幕式上，大会主席周培源致开幕词，科学院吴有训副院长到会讲话。当天，钱学森在会上做了“论技术科学”的报告。报告一开始，钱学森介绍了技术科学的起源和发展，指出技术科学是基础科学与工程技术综合而产生的新知识。他将技术科学与自然科学、工程技术列为人类认识自然和改造自然的知识体系的三大组成部分。他还精辟地分析了技术科学与工程技术之间的互动关系，并对技术科学的发展方向做出了前瞻性预测。这个报告内涵意味深长，内容远远超出应用力学的范围，表达了以应用力学为突破口，带动整个技术科学发展的学术旨趣。钱伟长做了“当前我国力学工作者的任务”的报告。报告中，钱伟长明确指出力学的技术科学性质：“力学作为一门学科，是介乎基本科学和工程技术之间的技术科学。力学工作者既要了解工程技术的观点和它们的实际问题，同时也要求对一些基础科学的最新知识、论证方法和实验技术有深刻的了解。”他特别强调了力学与生产建设和国防建设的密切关系、力学与临近科学部门之间的相互影响，扼要地介绍了一般力学、固体力学、流体力学、化学流体力学、物理力学等分支学科中重要的科学问题和发展动向，还对今后我国力学事业的发展提出了建议。最后，他强调说：有生产建设和国防建设的地方，就有力学问题，就需要力学工作者的劳动。力学工作者为了使自己获得的知识能对国家建设有所贡献，不惜花费很多劳动。②可以看出，钱学森与钱伟长对力学的认识与看法以及发展中国力学事业的主张是一致的，他们的报告明确了力学的学科性质和服务目标，即力学属于技术科学，是为工程技术发展服务的。这预示着，即将成立的中国力学学会属于技术科学性质的学术团体，目标是为国防建设和经济建设服务，同时不断学习其他学科的知识，促进学科自身发展。

开幕式之后，会议采用大会报告、分组专门报告、特约专门报告、自由讨论和座谈会

---

① 何友声：《讨论启思路，争辩出佳绩》，2011年8月30日。

② 钱伟长：《当前我国力学工作者的任务——在第一次全国力学学术报告会上的讲话（摘要）》，《光明日报》1957年2月9日。

等多种形式，交流力学领域的最新进展与成果。特约专门报告主要介绍力学分支学科的前沿研究和代表性成果，由各个领域专家负责组织的分组报告和专题讨论会比较全面地反映了我国力学学科的发展状况。在分组报告中，分为流体力学、弹性力学、塑性力学、结构力学、自动控制和一般力学问题等 6 个分组，共宣读学术论文 67 篇。[①]这些论文反映了 1955 年至 1956 年我国力学研究的进展。每次报告之后，都进行热烈诚恳和实事求是的学术讨论。在学术报告之外，还特意安排了一部分时间，供与会代表就自己正在进行的研究问题进行不拘形式的讨论和交流。青年力学研究人员借此机会向著名力学家请教，有兴趣的代表可以参加旁听和讨论。

为了让全国力学界同行了解力学领域重要问题的研究进展和今后的发展方向，会议特别安排了 7 场特约专门报告，由各个学科的带头人主讲，介绍他们的工作成果，指出发展的远景与存在的问题。周培源的报告“湍流理论的近代发展”，介绍了湍流理论的历史与研究进展。郭永怀的报告“近代空气动力学的问题”，介绍了现代高速空气动力学的一些新问题，指出了空气动力学的发展方向。“这篇报告赢得了与会者很大的兴趣。他们表示不但从这篇报告中得到了空气动力学最新发展的概貌和知识，而且了解了我国在这个学科今后所努力的方向。”[②]其他的专门报告，有李敏华、王仁的“塑性应力应变关系的文献总结”，林同骥、吴仲华的“透平机叶珊的空气动力学理论”，郑哲敏的“关于工程地震的几个问题”，林鸿荪的“固体流态化的几个基本问题”等。这些报告分别介绍了塑性力学、高速空气动力学、弹性力学、化学流体力学、固体流态化等领域的进展。此外，许国志介绍了运筹学中的线性规划及其应用。

会议还安排了一次座谈会，与会代表对于力学工作的方向、力学工作应采取的态度和方法交换了意见，了解了研究工作中共同遇到的困难，交流了经验，并对全国力学研究力量做出了准确的估计。

这次报告会是全国力学界的一次学术盛会，也是全国力学研究水平的一次大检阅。与会代表怀着发展力学、强国富民的赤诚之心，结社聚会，探讨学问。“不管在会场内的学术报告讨论，或是会外学术交谈，代表们从早到晚总是活跃异常。”令人印象深刻的是，会上出现了“四代同堂”的可喜现象：“年逾花甲的老学者、壮年的科学家和刚满二十岁的年青力学工作者都欢聚一起。在一组讨论会上代表们的年龄相差无几，但是在学术研究上他们却已经是四代同堂。钱伟长早年是周培源的学生，胡海昌、叶开沅是钱伟长的学生，最年轻的要算北京大学助教黄文彬，他又是胡海昌、叶开沅的学生。今天他们像同志和朋友一样的讨论问题，长一辈的喜悦心

① 林鸿荪：《记第一次全国力学学术报告会》，《力学学报》1957 年第 2 期。

② 毛家钧、丁宝芳：《在力学会上》，《文汇报》1957 年 2 月 17 日。

情是可以想象的。老科学家把年轻人称为会上的活跃分子。几乎一半论文的作者都是年轻人,本来就是可喜的现象。在讨论时,老科学家总是不止一次点头赞扬年轻人工作的努力,当然也严正恳切地指出了他们工作中的缺点。”会议期间,“两百多个代表操着各地方言。他们中有些人虽然还是第一次见面,但是交谈起来却是那样亲切,提意见时又是十分尖锐和诚恳,真所谓水乳交融、亲如家人。怪不得很多人把这次会叫做‘群英会’和‘家庭会’。为了我国力学事业的发展,他们没有丝毫隔阂,在讨论时总是真挚帮助。”[①]其间,有一件事情让参会的何友声终生难忘。半个多世纪以后,他回忆说:

> 在流体力学分组报告中,山东工学院刘先志教授(一级教授,笔者注)介绍他获得了一个自由液面下脉动泉涌的新解。刘先生是流体力学领域的权威专家,留德期间曾参与V2火箭研制工作。解放初,我在同济大学读书期间,他是教务长。当时学生最崇拜的是两位教授,一位是李国豪先生,另一位就是刘先生。他为什么选做这个题目呢?可能与他探索济南趵突泉的涌泉流动现象有关。他在会上详细介绍这个解的推导过程和细节。过程确实很繁,数学式子一大堆,虽说属于不可压缩问题,但需满足特定自由液面上的动力学和运动学条件。要算出它的数值结果并用曲线加以表达,更是浩繁,因为它涉及三重积分,那时没有电子计算机可以利用。刘先生大叹苦经,说:“这几个月中,我汗流浃背地进行推导和计算,整个暑假都泡进去了还不够……”他报告的时间很长,听者甚众,无不同情这位老学者对学术如此认真、执着。钱学森先生和潘良儒先生靠近坐着,我和刘应中也在近旁。报告过程中,我和刘应中注意到钱先生不断地与潘先生在嘀咕些什么,一会儿潘先生拿出一张纸用笔在上面勾画,钱先生则在一旁指指点点。报告结束后,进行提问和讨论。有人提出几个小问题之后,潘先生发言,直截了当地提出对求解的质疑。他认为这是一个轴对称的问题,实际上是二维的,因此这个问题可以简化为二维问题来解,从而可以利用其他成熟的数学工具把它比较方便地解出来,无需花那么大的劲去绕圈子,以致增加繁琐!他的发言令全场吃惊。刘先生一开始表示怀疑,并予以辩解,经过一番争论,最后潘先生上台在黑板上进行简明扼要的推导。刘先生感到心悦诚服,深感到自己的推导确实有值得审视和改进之处。讨论中,有不少人作了发言,包括钱先生。这场讨论虽已逾半个世纪,我的记忆难免会有差错,但给人留下的印象之深刻,绝非仅我一人。[②]

---

① 毛家钧、丁宝芳:《在力学会上》,《文汇报》1957年2月17日。

② 何友声:《讨论启思路,争辩出佳绩》,2011年8月30日。

在闭幕会上，钱学森代表主席团对这次力学学术报告会做了总结，他全面而详尽地分析了我国力学工作的现状，既肯定已有的成绩，又提出应该注意的问题，还指出今后的努力方向。他指出，已有的力学工作领域还不够广泛，要求有经验的研究人员担负起发展新领域的任务，希望在新旧力学学科的力量分布上根据国家建设要求做出正确的安排，力学研究工作必须密切配合生产实践并注意学科发展中最为关键的问题。针对我国力学研究工作计算较多、实验较少的状况，他希望大家把实验工作重视起来，努力建立实验基础，同时也要重视数值计算的发展。他还强调要培养新生力量，在高等学校和产业部门的力学工作者应把进修和当前工作密切配合起来。除了清华大学力学研究班，应在各地组织暑期讲习班，继续巩固和扩大力学研究队伍。这次力学学术报告会也是全国力学界统一思想认识的会议，对我国力学事业发展和人才培养具有重要的指导意义。

1.2　成立中国力学学会

会议闭幕的当天，中国力学学会顺理成章地宣告成立，这成为报告会的另一大成果。2 月 10 日，与会代表通过会章，一致推举钱学森为中国力学学会第一任理事长，周培源、钱伟长为学会副理事长，张维为学会秘书长，钱学森、周培源、钱伟长、张维、王俊奎、李敏华、黄敦、刘先志、沈元、李国豪、季文美、茅以升、梁守槃、郭永怀、曹鹤荪、张国藩、陆士嘉、黄文熙、陈百屏、丁燮和、杜庆华、金宝桢、刘恢先、林同骥、王培生、王仁东、徐芝纶、金懋、康振黄、李士豪等 35 位力学家为学会理事。会议还决定，在哈尔滨、西安、北京、天津、上海、南京、大连七地设立分会。

中国力学学会的成立，标志着中国应用力学以及运筹学、自动控制等技术科学研究人员有了自己的学术共同体，也标志着应用力学等技术科学进入快速发展时期。此后，全国力学研究人员聚集在中国力学学会的周围，通过各自的工作在不同分支学科、不同层次上促进力学等技术科学在中国的生根、发芽、开花和结果。

第二节　中国力学学会的学术活动

中国力学学会成立后，团结和组织全国高等院校、产业部门、国防部门等系统的力学研究人员，开展学术交流，出版研究成果，交换图书资料，学习国际先进学术成就，普及力学知识，推动力学研究，促进学术繁荣，使应用力学等技术科学在中国取得了显著发展。

2.1 发展壮大学会，推进学术交流

中国力学学会成立后，很快就建立了固体力学、流体力学、一般力学、岩土力学四个专业委员会。当年2月，固体力学、流体力学专业委员会成立。10月，一般力学专业委员会成立。12月，岩土力学专业委员会成立。

1957年3月15日，中国力学学会第一届第一次常务理事会会议在力学所召开，会议决定在常务理事会下设仪器工作组和资料工作组。4月，这两个专门工作组成立。前者设在上海，组长金悫，组员有丁燮和、王仁东。其任务，一是了解上海及附近地区仪器制造能力和生产情况，向常务理事会提出报告，以便向有关部门提供建议。二是传播国内研制试验设备的经验。后者设在北京，组长黄敦，组员有胡海昌、蔡树棠。其任务是介绍资料，报道消息，并向有关部门提供意见，如推荐、翻译世界力学名著等。两组之间的联络工作由王俊奎负责。根据中国力学学会成立大会上的决议，1959年前后，哈尔滨、西安、北京、天津、南京、大连、武汉等七地的力学学会相继成立，由中国力学学会直接领导。[①]它们与中国力学学会相互呼应，主要着眼于所在地区的经济需要、科学普及与教育工作。

中国力学学会的学员发展工作也迅速推进，至1964年会员已达1 100多名。广大会员怀着对建设国家的无比激情，积极投入力学教学、科学研究与工程技术工作，为建立我国完整的、理工科配套的、全新的力学学科体系作出了重要贡献。

举办学术活动，促进学术交流，是中国力学学会推动力学事业发展的主要内容。作为中国力学学会的挂靠单位，力学所在其中起到了中流砥柱的作用。力学所分管业务的副所长郭永怀认为，力学所在研究人员、图书和实验仪器的数量和质量上，乃至国际学术交流、学术信息的获取途径上，在国内都具有一定的优势。力学所不能安于“独善其身”，应该想方设法带动国内同类机构的发展，要把力学研究中新涌现出来的新理论、新技术向全国辐射。他觉得，中国力学学会应在这方面起到积极的作用，而传播方式主要是通过各种学术会议。关于学术会议的组织，郭永怀提出了宝贵的意见：一是每次会议内容不要庞杂，最好只有一个中心内容；二是必须事先做好充分准备，请专家做总结发言，并事先约好一批有质量的论文，以保证学术会议的水平；三要从中国实际情况出发，与会人员资格不能要求太高，列席代表尤其要广泛，注意向西部和边缘地区倾斜。[②]根据这些意见，中国力学学会“文革”前在上海、大连和西安举办了多次规模较大的学术会议，还举办了一些内容专

---

① 中国力学学会：《中国力学学会史》，上海交通大学出版社2008年版，第16页。

② 李毓昌：《高瞻远瞩，教泽长存——我对郭永怀先生学术思想的领会》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009年，第65—72页。

业、人数较少的学术会议。其中，比较重要的学术会议或学术活动有：

1960年9月，力学所举办“力学中的几个基本概念问题”的学术讨论会，与会人员就茅以升学习毛泽东《矛盾论》的心得“试论力学中的唯心观点”一文展开热烈、民主的讨论。讨论延续至翌年2月，参加者有钱学森、周培源、吴仲华、郭永怀等。内容涉及力与能的基本概念、关于力的产生、“能流”及表达式$F=u/s$、对于牛顿力学的评价等问题。最后，在林同骥、郭永怀、钱学森联名起草的“讨论意见”中，这样写道：“在20世纪60年代的今天，我们在写教科书的时候，必须说明牛顿定律只是在一般宏观世界中才能比较正确地表达客观规律，在微观的世界中描述原子、分子的运动，牛顿力学就不对了，要用量子力学。而在另一端的大宇宙世界中，在描述太阳系以外规模更大、速度更高的星云间的运动，牛顿力学也是不对的，要用广义相对论的力学。虽然量子力学如果用到一般宏观世界会自然而然地引到牛顿力学，两者之间没有什么不连续性；而广义相对论引用到一般宏观世界，也会自然而然地引到牛顿力学，两者之间也没有什么不连续性”。[①]通过这次持续而深入的学术讨论，让力学工作者清楚地将牛顿力学、量子力学和相对论力学的适用范围区别开来。

1962年夏，中国力学学会主办“高等材料力学讲习会”。会上，张维讲授壳体理论入门，王仁讲授塑性力学。10月，在西安举办全国第一次板壳学术讨论会，会上宣读论文44篇。

1963年8月，中国力学学会与大连工学院在大连共同举办“全国第一届塑性理论及极限分析会议”，会上宣读论文40篇。10月，在上海举行全国第一次流体力学学术讨论会。

1964年秋，中国力学学会与中国机械工程学会联合举办全国第一届爆炸成形学术会议。11月，中国力学学会举办全国第一次一般力学学术会议。内容涵盖飞行力学、陀螺力学、振动理论及应用和一般力学的其他问题，会议分为分析力学、一般力学及其应用、运动稳定性调节理论和飞行力学、陀螺四个专业组，到会人数达到100多人，共提交学术论文和报告71篇。会议展示了我国一般力学研究领域的学术成果，并涌现出一批优秀的青年力学人才，如运动稳定性调节理论组的黄琳（北大）、张嗣瀛（东北工学院）、黄文虎（哈工大）、高为炳（北航），飞行力学组的何友声（上海交大）、周恒（天津大学）等。在会议结束阶段，学会理事长钱学森做了总结发言。首先，他强调力学工作的理论联系实际以及理论与应用并重的原则，说：“力学工作是为生产实践服务的，力学发展的动力是来自生产实践。”“力学工作者要善

① 中国力学会：《中国力学学会五十年》，2007年，第38页。

于从实践中提炼、概括出一些具有理论意义的力学课题。”为此，他要求力学工作“要解决我国广大人民的吃穿用的问题，要解决我国尖端技术过关的问题”。“力学研究工作中的70%—80%的力量都应该为这些当前的实际问题服务。”同时，他又指出“不能把理论联系实际的工作庸俗化”，“应该有少部分力量从事一些与当前生产实践关系不那么直接的理论问题，这样做的目的是为了我国社会主义建设的长远需要，或者说是为了今后十年甚至廿年以内的建设需要。”其次，他对一般力学的研究内容和发展方向提出了意见。再次，他建议一般力学研究人员要重视电子计算机的应用，并重视各学科之间的相互渗透。最后，还就我国如何开展一般力学的研究工作提出了建议。①

1966年2月3—10日，中国力学学会与中国物理学会联合召开“原子、分子物理与物理力学学术座谈会”，参会代表达到145人。这年夏，召开“全国第一届固体力学实验应力分析学术会议”，会议由长春光学机械研究所承办，会议宣读论文12篇，包括光弹性、电测、脆性漆、模拟分析等方面。会上，21个单位准备发起成立“中国实验应力分析学会”，后因故搁浅。

中国力学学会参与组织举办的最具代表意义的学术活动应是1961年郭永怀、钱学森等发起组织的“北京地区高超声速讨论班”和“星际航行座谈会”。这两个学术活动为我国开展航天活动做了人才和学术上的准备，并带动了相关领域研究工作的开展，对于我国洲际弹道导弹、返回式卫星以及载人航天事业的发展具有十分重要的意义。

这些学术活动的举办和开展，促进了学术交流和新知识传播，尤其是有力地推动了我国高超声速空气动力学、磁流体力学、物理力学、爆炸力学等前沿学科的建设和发展，取得了非常好的效果。

2.2 出版《力学学报》

为了加强全国力学界的学术联系和交流，中国力学学会决定创办《力学学报》。为此，专门成立了学报编辑委员会，钱学森任第一任主编，潘良儒任执行编辑，编委有王仁、王俊奎、刘先志、庄逢甘、沈元、吴仲华、杜庆华、李士豪、李敏华、周光诇、周培源、周履、林同骥、林鸿荪、陈宗基、郑哲敏、胡沛泉、胡海昌、范绪箕、陆士嘉、郭永怀、张国藩、张维、黄文熙、黄茂光、程世祜、蔡方荫、钱令希、钱伟长。第二任主编改为郭永怀。1957年3月21日，中国第一份力学专业期刊《力学学报》正式出版。

《力学学报》是代表中国力学界的声音、反映中国力学研究进展的权威平台。

① 钱学森：《对我国一般力学工作的几点意见》(1964年11月，部分)，上海交通大学钱学森图书馆。

钱学森在发刊词"我们的目标"中写道："我们希望力学学报的出版能更积极地推动我们的力学产业。"[①]在发刊词中，他阐明了创刊宗旨、对于力学与技术科学的认识及其工作目标。时隔半个多世纪，如果我们回头仔细品读这篇字斟句酌的文字，一定会益发认识到它的分量。

首先，发刊词明确了学报的技术科学性质。发刊词开宗明义地指出："力学是一门技术科学，力学学报也就是一门技术科学的学报。"重申力学的技术科学性质，为学报的性质和办刊目标定下了基调，即学报是为工程技术服务的技术科学性质的刊物。对于学报来说，这份发刊词起到了发凡起例的作用。实际上，它也成为中国力学学会和全国力学工作者的指导思想。其次，它明确了学报刊载研究成果的范围。力学的研究内容日新月异，研究重点和热点不断变化。为了适应这种变化，发刊词指出学报不仅关注力学新兴学科的发展，"为了力学的不断前进，我们一定要重视这些新发展、新方向，并要鼓励这方面的研究工作"。而且，不忽视力学领域传统学科的研究工作，尤其"注意到把这些已经定形的力学学科用来解决国民经济上的问题"。此外，还要注意一些不属于力学但属于技术科学的研究内容。[②]从这里可以看出，学报既重视新兴学科又不忽视传统学科，最为重要的是强调刊载带有创新性质的研究成果。另外，学报在"征稿简则"中说："刊载具有创作性的力学理论及实验研究论文，特约总结性的某专题研究报告、短文、论文讨论及书评。本学报的范围是：弹性力学、塑性力学、结构力学、流体力学、空气动力学、气体动力学、一般力学、土壤及岩石力学、化学流体力学、物理力学及有关力学的应用数学等；此外，也欢迎自动控制学及运用学在本报发表。"可见，《力学学报》主要刊登力学等技术科学领域在理论上、方法上有创新，或应用现有理论及方法，结合我国实际解决工程技术问题的论文。其名为《力学学报》，从刊载论文的范围来看，实则为一份不折不扣的技术科学刊物。

作为一份技术科学专业杂志，《力学学报》为技术科学研究成果的交流提供了一个宽广的学术平台，使技术科学的声音和观点传播得更加广远。1960 年冬，《力学学报》自当年第 4 期至 1961 年全年，因政治运动全国期刊整顿，被迫停刊。1962 年春复刊，出自 1966 年第 2 期时又因"文革"爆发而再度停刊。"文革"前，学报的实际出版年份为 1957—1960 年和 1962—1966 年，总共仅有 8 年时间。笔者对这 8 年间出版的论文做过粗浅的统计，其内容涉及弹塑性动力学、弹性力学、板壳理论、塑性力学、流变学、流体力学、流体弹性力学、星际航行、稀薄气体力学、工程地震、结构力学、应用数学、电磁流体力学、运筹学、气体动力学、自动控制、化学流体

---

①② 《我们的目标(发刊词)》,《力学学报》1957 年第 1 期。

力学、土壤力学、爆炸力学、一般力学等分支学科，总共刊载论文近200篇，其中，弹性力学、塑性力学、流体力学、板壳理论、一般力学、气体动力学论文均超过10篇，表明这些分支学科是当时中国力学界的主要研究领域。在新兴学科中，电磁流体力学4篇、化学流体力学1篇、爆炸力学1篇，而物理力学没有论文发表。这一时期，《力学学报》是中国最有代表性的技术科学刊物，它所刊载的论文无疑是应用力学等技术科学在中国发展的历史缩影，它为技术科学在中国的建立、发展和繁荣立下了汗马功劳。

作为主编，钱学森虽然十分繁忙，但仍对《力学学报》的编辑工作十分重视。主张刊登理论联系实际，并对国家建设有指导意义的研究论文，是他对学报的一贯主张。即便是对于自己的文章，钱学森也同样地严格要求。据何友声回忆：1957年11月出版的《力学学报》刊登了钱学森的论文"远程星际航行"。其中，有句话写道：远程星际航行的时间"比起人的寿命来是太长久了，所以到恒星去旅行还不是现有的科学技术所能做到的。但这并不阻碍我们研究到恒星上的条件，也就是研究一定条件下远程星际船可能有的性能"。围绕这个目的，文章阐述各天球之间可以实现自由航行，并对此进行了详细的推导，说明按此路线走下去，多少年以后可以实现这个目标。后来，钱学森对这篇文章进行了自我批评，并在《力学学报》上公开表达歉意。许多人对钱学森的"道歉"颇感诧异，学报编辑部后来解释说：并不是因为文章有什么错误，而是钱学森经过思考，认为这篇文章在当时背景下脱离了生产实际需要。他认为，力学是理论联系实际的，应为工程技术服务，而星际航行问题是未来的需要，不是当时的实际需要，为此还建议学报今后对此类文章要慎重，尽量少登。①

第三节　本章结语

除了中国力学学会外，钱学森还对中国自动化学会的创建和发展作出了重要贡献。中国自动化学会1957年开始筹备。当年5月，由钱学森、沈尚贤、钟士模、陆元九、郎世俊等人发起，经过有关部门的酝酿和全国科联的商定，产生了由钱学森等29人组成的筹备委员会。1958年，中国自动化学会筹委会在北京成立，选出钱学森等9人为筹委会常务委员。1961年11月，中国自动化学会正式成立，钱学森担任第一届、第二届理事长。此后，钱学森领导、服务中国自动化学会达20多年。

① 何友声：《在上海交通大学钱学森逝世一周年座谈会上的发言》，上海交通大学，2010年10月27日。

学术共同体是促进科学事业发展的重要内部支撑组织，它们的发展水平直接关系到科学制度化建设的水准。力学以成立中国力学学会这个一级学科学会为标志，在中国取得了独立的学科地位，也标志着以应用力学为代表的技术科学学术共同体在中国初步形成。至此，在国家体制的支持下，经过钱学森、周培源、钱伟长、郭永怀等力学家的组织和推动，形成了学术交流性质的学术共同体，确立了共同的学术规范，标志着应用力学等技术科学作为一项新的事业在中国建立起来了。50 多年来，中国力学学会在开展国内外学术交流与合作，建立学科认同，促进学科水平提高、发展和繁荣，普及力学知识，开展力学教育，发现和培养优秀力学人才等方面起到了十分重要的作用。

第八章 “大跃进”运动中的技术科学

——以力学研究所为中心

对于新中国科学事业而言，1956年可谓扬帆起航之年。科学规划的制定和实施，使科学技术迎来了春天，呈现出百花绽放、欣欣向荣的喜人势头。可惜的是，这个春天太短暂了，仅仅持续到翌年上半年，随即就出现一个急转直下的拐点。1957年4月27日，中共中央发布《中共中央关于整风运动的指示》，决定开展整风运动，号召“大鸣大放”，要求党外人士发表对政治经济形势的看法，甚至提出批评意见，帮助中共克服和纠正脱离群众、脱离实际的官僚主义、宗派主义和主观主义的缺点，改进工作作风，提高执政能力。应该说，整风运动的初衷并没有错，主要是为了解决人民内部矛盾，中共中央将其定性为“一次严肃认真又和风细雨的思想教育运动”。[①]在中共的广泛动员和精心组织下，许多党外人士对中共和政府提出了大量善意的批评和建议。然而，一些怀疑、否定中共领导和社会主义制度的言论借整风之机冒头和蔓延，在社会上造成了较大的思想混乱。这种异常现象出乎毛泽东和其他中共领导人的意料，甚至超出了他们所能容忍的程度，被视为十分危险的政治信号，他们随即改变初衷，将整风运动的主题由处理人民内部矛盾转向为对敌斗争，由党内整风转向反击“右派”的进攻。6月8日，中共中央发出《关于组织力量准备反击右派分子进攻的指示》。同日，《人民日报》发表社论“这是为什么?”。随后，整风运动转为解决敌我矛盾的“反右”斗争正式开场，并在全国轰轰烈烈地开展起来，甚至被严重地扩大化了。

新中国仿效苏联，实行计划科学体制，强调科学为生产服务。而1949年之前

① 《关于整风运动的指示》，载中共中央文献研究室：《建国以来重要文献选编》(第10册)，中央文献出版社1994年版，第222页。

的中国，科学工作指导思想有着浓重的自由主义色彩，尊重科学家的选择，提倡独立钻研与自我奋斗的精神，鼓励自由研究。在1952年思想改造运动中，这种理念被视为资产阶级的个人主义、唯心主义、自由主义，遭到批判和清算。“反右”运动开始后，这些思想再次遭到口诛笔伐。要不要坚持中共对科学工作的领导？科学工作要不要为社会主义建设服务？科学工作要不要贯彻理论联系实际的方针？等等。围绕这些问题，科学界开展了关于科学发展方针和道路的大辩论。通过深入发动群众，组织展开“大鸣大放”、“大争大辩”的批评和自我批评，各种个人主义、名利思想、为科学而科学的理念等被当成资产阶级思想遭到无情的批判。在政治高压态势下，许多科学工作者为了“赎罪”，不得不自鞭自责，自我检讨思想上的“错误”，把隐藏在内心深处的、被认为是自私自利的各种私欲杂念向党和盘托出，向党献上赤诚的心，清洗掉整风运动中暴露出来的非无产阶级思想，并表示改造自己的思想，破个人主义，立集体主义，绝对服从党的领导，服从国家利益。经过运动的洗礼，科学工作者意识到科学工作必须坚持中共的领导，按照政府的部署有计划地发展，即政府下命令，科学家照办。科学工作必须为社会主义建设服务，研究课题来源于生产实际，研究成果服务于生产实际。换言之，科学工作者一方面失去了自由思考的权利，思想与言行被高度统一到主流意识形态之中，另一方面被剥夺了自由研究的权利，学术评议权由学术共同体转移到党和政府手中，科学成为政治的附庸。

针对科学院的实际情况，郭沫若、张劲夫等科学院领导本着爱护科学人才的精神，向中央建议对科学家采取保护措施，以免受运动的冲击，得到中央的同意，并代中央起草了一个关于自然科学界反“右派”斗争策略的文件。这份文件很快得到中央的批准，并作为中央文件下发，科学院系统都按照此文件执行，降低了高级研究人员中划“右派”的比例。①尽管如此，仍有一大批敢于“给党提意见”的知识分子被打成“右派”。至1958年2月，科学院所属京区单位总计划定167名“右派分子”，其中8名研究员、3名副研究员、22名助研、72名研究实习员、6名技术员、10名翻译、15名助理业务人员、12名编辑、19名行政人员。②被划为“右派”或受到运动冲击的科学工作者，成为政治上的“贱民”，在感情和人格上受到严重伤害，在心理上投下了浓厚的阴影，造成了日后对政治缄口不言的保守态度。看到那些被划为“右派”的同事，大家对说真话而在运动中挨整心有余悸，变得噤若寒蝉，处事小心谨慎，即使再激进的人也变得更为识时务，再也不敢批评随之而来的更“左”的方针，在惊心动魄、神经紧绷中尽力使自己适应新的形势。另外，在宣传“党能够领导科学”的同时，

① 张劲夫：《张劲夫文选》(下)，中国财政经济出版社2000年版，第751—753页。

② 钱临照、谷羽：《中国科学院》(上)，当代中国出版社1994年版，第88页。

选派大批党员干部到科研机构任职，加强了党对科研部门的掌控，使此后的一切政令畅通无阻。因为，这些党员干部在科研机构中往往起到实际领导作用。①

“反右”运动尚未结束，1958年3月中共中央又在全国范围内发动了“反保守、反浪费”的运动。反浪费倡导的是节约，反保守则必须跃进，其实质就是倡导“多快好省”，全国各地纷纷制订节约计划，增加跃进指标。这样一来，全国形成了更加激进的气氛，一切阻碍科学工作跃进的“落后”现象，尤其是“保守思想”再次遭到清算。并且，“反右”运动、“双反”运动将认识上的能不能“跃进”和敢不敢“跃进”，同“红专”、“白专”问题联系在一起，结果使真正的科学精神被斥责为保守思想或资产阶级个人主义而遭到残酷批判。随着运动的深入开展，社会上形成了紧跟政治动向的思潮，强调步调一致，容不得半点独立思考。由此，科学工作者丧失了对政治运动独立分析的权利与能力，形成了这样的“共识”：积极响应党中央的号召，对上级的决定言听计从，在政治上宁“左”勿“右”，这样就可以保证相安无事，而无需考虑其他后果。这为“大跃进”等违反基本规律的激进运动的发动和全面展开扫清了障碍，铺平了道路。

第一节　“大跃进”运动在科学界的发动和展开

“反右”运动后，国内政治形势发生了深刻变化，毛泽东等中共领导人认为，经济上社会主义改造的完成和政治上社会主义革命都已取得伟大胜利，广大人民群众热情高涨，经济建设应该搞得更快一些。1957年，“一五”计划顺利完成，处在“反右”运动中的中共领导人认为：在经济计划上要克服“右倾”，要相信群众的力量，用比资本主义更快的速度建设社会主义。按照这个逻辑，中共中央酝酿并制定了社会主义建设总路线，相继发动了“大跃进”和人民公社化运动。

“大跃进”运动首先在工农业领域显露苗头。1957年10月25日，中央正式公布八届三中全会通过的《一九五六年到一九六七年全国农业发展纲要（修正草案）》。10月27日，《人民日报》配发“建设社会主义农村的伟大纲领”的社论，要求“有关农业和农村的各方面的工作在十二年内都按照必要和可能，实现一个巨大的跃进”，正式在党报上提出“跃进”口号。12月12日，《人民日报》又发表社论“必须坚持多快好省的建设方针”，发出“把一九五八年的各项计划指标订得尽可能先进些”的号召。官方媒体频频发出政治信号弹，预示着1958年必将是个热闹之年。

---

① 张志辉：《“科学大跃进”初探》，中国科学技术大学博士学位论文，2007年，第51页。

随后，从中央到地方，各地区、各部门根据《全国农业发展纲要（修正草案）》和15年赶上或超过英国的要求，批判“右倾保守”思想，修改原定计划，订出“跃进”计划，提出新的高指标。农业领域成为“大跃进”运动的急先锋，1957年冬至1958年春全国掀起了农业生产高潮，拉开了“大跃进”运动的序幕。1958年2月，全国人大一届五次会议通过经济发展计划，计划工业生产总值比上年增长14.6%。农业方面，原定到1967年完成的农业发展纲要，预计许多地区可以提前在六年、七年甚至更短的时期内完成。当时的情形，犹如报纸上所描述的：“群众运动万马奔腾，政治局面生动活泼”。为了让“大跃进”列车尽快发动起来，1958年1月和3月，中央先后召开南宁会议和成都会议。毛泽东在会上多次严厉批评“反冒进”，提出了发动“大跃进”运动的一系列任务、指标、口号和方法，为运动的全面发动做了充分的思想和舆论准备。随着会议精神向下逐级传达，全国逐渐刮起超越实际可能的盲目蛮干、攀比赶超的“大跃进”之风。[①]

科学为工农业服务是社会主义科学工作的指导方针。工农业生产的大跃进，必然要求科学工作也全面跃进，迅速赶上去，解决工农业生产中的科学问题。为了顺应跃进大势，不保守，不落后，科学界迅速开展思想动员，号召开展大跃进。同样，科学工作大跃进也是在贯彻中央精神和指示过程中发动起来的，经历了初步酝酿、逐步升级的过程。其间，国家主流媒体、科学期刊竞相报道跃进典型，刊发社论，营造舆论环境，让科学工作者不自觉地卷入“大跃进”的惊涛骇浪之中，觉得“大跃进”是形势所需，更是中国科学发展的根本出路。

1958年2月13日，科学院召开研究所所长会议，中心议题为“科学工作能够跃进，科学工作也必须跃进”，会期三天。2月15日，郭沫若院长在会上做了“科学界的精神总动员”的讲话，强调“科学发展上的大跃进，不是应不应该跃进；也不是能不能够跃进的问题，而是应该采取什么方法来实现大跃进的问题，是我们科学家们怎样鼓足干劲、力争上游、完成任务的问题”。他指出，1956年制定的科学规划提出“在十二年内使重要的急需的科学部门接近或赶上世界先进水平，这就是科学大跃进”，而科学规划实施两年来，为科学大跃进准备了足够的条件。他“要求科学家努力冲破科学技术部门的原子核，卷起对科学技术研究的高潮。形势就是这样‘咄咄逼人’，勿须多长的时间，不仅在科学界内，而且在全国范围内必然要卷起科学技术研究的高潮”。这种形势会让科学家“不要愁无用武之地”。他号召科学家，应“向地球打仗，要征服自然”，“要打赢地球”，拿出吃奶的力气来促使科学大跃进。最后，他提出以“鼓足干劲，多快好省；一心一德，又红又专；重视劳动，服从组织；加

---

① 中共中央党史研究室：《中国共产党历史》（第二卷，上），中共党史出版社2011年版，第473—480页。

强合作，实现规划"这四言八句，作为促进科学大跃进的精神口号，号召大家"一鼓作气，趁热打铁，使我们科学事业乘风破浪地飞跃前进"。[①]

会上，许多科学家举出大量事实论证科学工作和工农业生产一样，完全可以采取"多快好省"的方法来一个"大跃进"。在发言中，他们不约而同地强调，思想跃进是科学大跃进的前提，科学大跃进的关键在于科学工作者的思想改造，老科学家的思想改造尤为重要。如物理所所长钱三强说，我们这一代科学家大抵是从脱离实际、"为学术而学术"的环境中长大的，而恰恰担负着指导和组织我国科学事业的重要责任，我们的思想改造是科学大跃进的一个最重要的前提。地球物理所所长赵九章说，要做到思想跃进，要做好科学家的思想改造，就必须在科学家中贯彻党中央指示的"团结——批评——团结"的公式，要使科学家相互之间做到思想见面，把心交给组织。过去有的人是貌合神离，表面上互相尊重，实际上是以"我"为中心。"这是人民内部的两条道路的斗争，我们要以社会主义思想来改造资本主义个人主义思想"。力学所所长钱学森说，办一切事业的最好办法，包括科学研究在内，是发动大家、依靠大家。怎样发动大家，是一个不易做到的问题，因为我们中间还有个人打算，这样就会把劲头用错了地方。

有些科学家认为，进行思想改造的好办法就是大家把心交给同志们、交给党。如钱学森说："只要我们能够附上工人阶级的皮，把每个人的心交给六亿人民，那么我们每个人就有六亿人民那么大的力量！"他特别提出：为了实现科学大跃进，应该把眼光放远一些，不仅要看到国家当前的需要，而且要看到经过十年以至更长的时间以后的国家的需要和科学的发展状况。譬如，"以后的农业发展，不仅是机械化、电气化、化学化的问题，而是如何把工程技术应用到农业上去，使农业生产也成为一个工厂似的，就是在控制的条件下进行生产，这也可叫做农业的工业化。"他认为科学院特别适合发展新兴学科之间的边缘学科，如把物理学渗透到各个部门中去（如生物物理学等）。他说："这不仅是指自然科学、技术科学的相互渗透，而且应当重视自然科学、技术科学渗透到社会科学部门中去，如把统计数学方法用到社会科学中去，以及工程技术方面的工业经济等。这种相互渗透就有可能发展起崭新的重要的学科。"[②]还说："我们国家的事情总是走得那么快，事实总会超过我们最乐观的估计。产业部门的工作在飞跃发展，科学院作为全国学术领导，应该走在生产的前面。……我相信理想的、极乐的世界不久的将来就会在我们这块土地上建立起来。"[③]这是钱学森首次对上层号召做出正面呼应，公开表明支持"大跃进"运动

① 郭沫若：《努力实现科学发展的大跃进》，《科学通报》1958 年第 7 期。

② 《争取科学工作的大跃进——记中国科学院研究所所长会议》，《科学通报》1958 年第 6 期。

③ 吕新初：《科学大跃进的号角响了》，《光明日报》1958 年 2 月 21 日。

的政治立场。从发言的态度和内容来看，他基本上是从科学角度出发思考“大跃进”问题，真诚地希望中共带领全国人民尽快改变国家的落后面貌。随后，“大跃进”运动如同挣脱缰绳的野马一路狂飙，则是钱学森始料未及的。这些享有崇高社会声望的科学家现身说法，积极响应开展“大跃进”运动的号召，正合发动者的意图。他们公开表态支持“大跃进”运动，其影响不可谓不大，其他科学家焉能不从？

在会议的最后一天，科学院党组书记张劲夫做了发言。他归纳大家的意见，提出 24 个问题，供全体人员研究，并准备把各方面的意见集中起来，在此基础上制定科学大跃进的具体行动纲领。“科学工作能够跃进，科学工作必须跃进”，成为与会科学家和领导干部的共识。《光明日报》称：这次会议“是中国科学工作者乘风破浪，迅速赶上国际先进水平的一次大动员”。①《人民日报》也以“把心交给人民使科学大跃进”为题报道了这次会议。②这次会议标志着，作为科学国家队的科学院在全国科学“大跃进”运动中充当起了急先锋。随后，科学院京区各单位开展了大规模的大鸣大放、大字报和大辩论，营造出科学能够大跃进而且必须大跃进的舆论氛围。

3 月 5—12 日，国务院科学规划委员会在京召开第五次会议。由于会议是在全国生产大跃进、全民整风运动深入开展的形势下召开的，各项议程都渗透着“大跃进”和整风精神。会议向全国科学界提出了一个光荣的任务：科学必须为生产大跃进服务！③ 会上，郭沫若做了“加强中苏合作，为促进科学事业的大跃进而战斗”的动员报告，指出在当前劳动人民生产热情空前高涨的形势下，“我们科学家是绝对不能作壁上观的。我们必须在科学事业上也严格遵守多、快、好、省的方针，努力成为促进派，而不是成为促退派。工农业生产热情的全面高涨，几亿人民在勇猛地向大自然进军，在这里我国的科学家和技术家便成为我国人民向大自然进军的技术指导和技术骨干。这是光荣而艰巨的任务，我们必须以乘风破浪的气概来完成这项任务。”并且，他再次向科学界发出号召：“请让我们鼓起干劲、力争上游，为争取提前实现十二年科学规划所规定的任务，为全面支持工农业生产的大跃进并促进科学事业的大跃进，不屈不挠地共同战斗。”④

3 月 12 日，国务院副总理、科学规划委员会主任聂荣臻到会做了“科学事业必须为生产大跃进服务”的总结性讲话。讲话强调：当前生产大跃进，迫切要求科学

---

① 《中国科学院举行研究所所长会议提出科学大跃进战斗纲领》，《光明日报》1958 年 2 月 21 日。

② 《把心交给人民 使科学大跃进——科学家在科学院会议上强调思想改造是科学跃进的前提》，《人民日报》1958 年 2 月 21 日。

③ 吕新初：《科学为生产 跃进再跃进——记国务院科学规划委员会第五次会议》，《科学通报》1958 年第 7 期。

④ 郭沫若：《加强中苏合作为促进科学事业的大跃进而战斗——访苏科学技术代表团总结报告（摘要）》，《科学通报》1958 年第 7 期。

大跃进，科学必须为生产大跃进服务，这是科学事业的根本方针！“为了实现技术上的革新，要求我们在尽可能短的时期内掌握苏联和其他国家的先进科学技术成就，并且根据我国实际情况进行创造性的研究，同时还要发扬我国科学遗产，总结群众生产经验，使得我国最急需的科学技术部门能在第三个五年计划期末接近或赶上世界的先进水平，同时要求把科学技术知识普及到广大群众中去，提高我们国家工人、农民的科学技术水平”。他指出：“在人类历史已经进入原子能时代和征服自然界的新纪元的今天，我们必须积极地在最新的科学技术方面取得迅速的发展，把我国的科学技术和生产力提高到更高的水平，不断地向前跃进。因此，必须集中一定的力量来发展这些科学技术部门。对于和国家长远建设有密切关系的理论性和探索性工作，应该给予足够的重视。”他特别强调，争取科学大跃进最根本的问题是科学队伍问题，而加强科学队伍的主要方法是整风，批判某些科学工作者的资产阶级思想作风。“科学界的整风运动是科学事业大跃进的一个关键问题，我们一定要在这次整风运动中把思想问题解决得深透，才能使我国科学事业向前跃进。思想问题挖的越深，解决得越透，我国科学事业的发展就越有保证。”①

在科学部门领导人再三鼓动和催促之下，25 位到会的科学家先后表态呼应，发言主要围绕着两个中心问题，即生产大跃进迫切要求科学大跃进，科学工作者结合整风运动进行自我改造是科学大跃进的先决条件。虽然表态中充斥着官场套话，不过当时确实有一些科学家认为解放思想的运动是必要的，如半导体专家汤定元回忆说：“我们从旧社会过来的知识分子，由于我们国家贫穷积弱，科学落后，总有些自卑、保守的思想，需要彻底铲除。群众运动也许是一个比较有效的方法。”②

这次会议进一步强化了科学工作必须进行大跃进的理由，不过大跃进在科学界仍处于思想跃进和政治动员阶段。

3 月至 5 月中旬，全国科研单位纷纷举行跃进誓师大会，进一步涤荡了阻碍思想跃进的资产阶级学风和保守落后思想。科学院地球物理所党组织采取科学家主动进行自我改造和发动群众帮助相结合的方法，创造了高级研究人员整风运动的良好开端，被树为典型。该所由党组织带头检查，引发出科学家自我检查的要求，然后抓住检查业务的纲，检查资产阶级思想和保守落后思想。经过前后 15 天的小型座谈会，促进了在政治上和思想上的社会主义革命步步深入。3 月 19 日，郭沫若院长专门来到地物所参加整风经验现场座谈会，接受“集体的社会主义教育”，还

---

① 聂荣臻：《科学事业必须为生产大跃进服务——在科学规划委员会第五次会议上的讲话》，《科学通报》1958 年第 7 期。

② 汤定元：《八十忆旧》，载韩存志主编：《院士回忆录》(第 3 卷)，上海科技教育出版社 2006 年版，第 255—392 页。

做了总结性发言。他说地物所之所以能取得重大收获，主要在于两大“法宝”：一是不破不立。他们认为，隐藏在头脑里的资产阶级思想阵地不破，新东西就难以立足，如果不批判资产阶级思想，红专规划也不可能巩固。如李善邦说：“像我这样年龄的人，不论在思想意识上、工作方法上都已成一套。这套老东西，虽然在思想改造时搞了一下，但未曾彻底批判；不但没有改掉，多少反而更加牢固。”二是采取“团结——批评——团结”的方式，启发人们的自觉，进行自我批判。他们将这条经验的具体操作总结为：“统一认识，决心要大。党先检查，缺口党打。摸底排队，开头要好。促其主动，自我检查。多摆事实，鼓励辩答。政治业务，同时开花。批判彻底，轻松不垮。提高觉悟，面子自搭。”

随着整风运动深入开展，科学院出现的形势如同跃进小报《风讯台》4 月 2 日的社论“一个好经验”中描述的那样：“自从所长会议以来，24 万张大字报就像燎原的烈火，烧遍了我们京区的各个单位。没有一个人不在火中受到锻炼，没有一件事不在火中受到考验。把落后腐朽的东西烧得干干净净，接着就是阵阵的和风细雨，从此大地回春，百花怒放”。[①]4 月下旬，科学院京区单位开展“交心”和思想改造运动。80 多位高级研究人员主动要求检查和作为检查重点，钱学森、钱三强、华罗庚等科学家带头作了自我检查。会后的 4 月 29 日，《人民日报》又发表钱学森的文章“发挥集体智慧是唯一好办法”。[②] 动员会和交心会，尤其是著名科学家言不由衷的表态拥护，为“左”倾思想鼓吹呐喊，让“大跃进”的酵母在科学界进一步发酵、升温。

一切均已准备就绪，昭示着一场暴风骤雨即将来临。经过 1958 年上半年几次中央会议的酝酿和准备，5 月 5 日至 23 日八大二次会议在京召开。会议充分肯定全国已经出现的“大跃进”形势，认为我国正在经历马克思预言的“一天等于二十年”的伟大时期，经济文化事业完全能以远远超过西方发达国家的速度发展。会上，中央正式向全党和全国人民提出“鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义”的“总路线”，提出了技术革命和文化革命的伟大任务，提出了“政治挂帅、解放思想、树立敢想敢干的共产主义风格”的口号。5 月 5 日，刘少奇在代表中央所做的工作报告中，对科学工作者提出了“在实现‘十二年科学发展规划’基础上，尽快地赶上世界上最先进的水平”的伟大任务。毛泽东在会上多次讲话，强调破除迷信、解放思想的问题。他说：不要被名家权威所吓倒，要敢想、敢说、敢做，要从束手束脚的现象中解放出来。“卑贱者最聪明，高贵者最愚蠢。”要剥夺那些翘尾巴的高级知识分子的资本，鼓舞工人、农民、老干部、小知识分子打掉自卑感。还说，外行

---

① 《一个好经验》，《风讯台》1958 年 4 月 2 日第 28 期社论，载《中国科学院年报(1958)》，1959 年，第 102—104 页。

② 钱学森：《发挥集体智慧是唯一好办法》，《人民日报》1958 年 4 月 29 日。

领导内行，是一般的规律，差不多可以说，只有外行才能领导内行。在急躁冒进思想占主导地位的环境下，这些讲话助长了不尊重知识、轻视知识分子、忽视科学及违背客观规律的风气。[①]5月17日，毛泽东还在会上发出“我们也要搞人造卫星”的号召，此后“放卫星”成为跃进高指标的代名词。

八大二次会议是一次全面发动“大跃进”的会议，把已经鼓动起来的群众的狂热情绪推向新的高潮，将国家全面推上“大跃进”的轨道。会后，国家的中心任务由“反右”转移到“大跃进”，“总路线”、“大跃进”和“人民公社”这三面红旗迅速席卷全国。随即，工业领域开展了“大炼钢铁”运动，农村发动了“人民公社化”运动。运动的主要标志是片面追求工农业生产和建设的高速度，各行各业都提出很高的发展指标，使以高指标、浮夸风、共产风为主要标志的“左”倾错误严重泛滥起来。与此相配合，《人民日报》等官媒开足马力，大造舆论，连续发表社论，强调“用最高的速度来发展我国的社会生产力”是“总路线的基本精神”，而“速度是总路线的灵魂”，“快，这是多快好省的中心环节”。

随着工农业大跃进冲锋号的吹响，科学界也不甘落后，迅速行动起来。就在八大二次会议召开期间，5月10—16日科学院数学物理学化学部、技术科学部、生物学部和地学部先后召开京区研究单位跃进誓师大会，与会科学工作者纷纷表达开展大跃进的信心和目标。数学所所长华罗庚说，数学所不甘落后，要在十年内赶上美国。数学所偏微分组代表认为华罗庚所长提出的“十年内赶上美国”太保守，偏微分组要在两年内超过美国。这位代表还建议数学所接受全国提出的需要研究的数学问题，他们组保证包干其中有关偏微分的部分。随后，华罗庚再次发言，表示对计算技术、大水坝……一切数学研究问题，数学所愿意包下来。力学所弹性力学组表示要在1959年为我国解决水坝抗震问题，“五年把美国、日本抛在后边”。[②]力学所和化学所还提出，合作把新的流体力学方法应用到化学反应。应用这种方法，可以加强反应物的活性，使化学反应能够在几千分之一秒的时间内进行，并且由于冲激波的作用，可以把反应物在一刹那间从低温升到高温，然后又迅速降为低温，不需要任何催化剂即可有效地控制反应的过程。这项工作如获成功，会使化学工业发生重大革新。[③]

在跃进誓师大会上，挑战、应战声此起彼落，保证书、大字报不断出现，相互促进、相互支持、提高指标蔚然成风，异彩纷呈，掀起了比先进、比干劲的高潮。到会

① 中共中央党史研究室：《中国共产党历史》（第二卷，上），中共党史出版社2011年版，第482页。

② 《工作大跃进的高潮——中国科学院北京地区自然科学研究工作者的信心和目标》，《科学通报》1958年第11期。

③ 张劲夫：《解放思想，在科学事业中坚决贯彻党的社会主义建设总路线》，《人民日报》1958年6月7日。

的同志一致通过决议:向正在召开的八大二次会议报告当前科学工作跃进的信念和目标,以表达对党代会的热烈支持和拥护。5月15日,科学院京区自然科学各研究单位及院本部各单位全体人员向大会主席团并毛泽东主席报告跃进计划,提出了24项重大任务和跃进目标,其中直接为工农业服务的有18项,还有4项提出要赶超世界先进水平,其中有力学所提出的用激波管生产氮肥的研究任务。这些跃进目标,既结合工农业大跃进的需要,又体现出积极"赶超"世界先进水平的雄心壮志。一些科学家还表态说:"时刻不忘地遵守党所教导的'政治是统帅'这个准则。要以不断的思想跃进来保证工作跃进,用红来保证专,用政治来带动业务。我们将本着敢想、敢干、说到、做到的新风格,在党的领导下,遵循着社会主义建设总路线,鼓足干劲、力争上游、多快好省地完成任务,建立一支强大的又红又专的科学队伍,促进我国技术革命的实现,尽快地赶上世界科学技术的先进水平。不论在什么样的困难面前,我们都不会退缩,不达目标,决不休止。"①这些言论集中反映出科学界积极响应党的号召,愿意全力投身"大跃进"运动的集体心态。

会后,科学院立马学习和贯彻"总路线",《人民日报》和《科学通报》还登载了张劲夫的专文,说:"要胜利地完成党和全国人民所交给中国科学院的巨大任务",最根本的保证,"是要在科学事业中坚决地贯彻党的鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义的总方针、总路线,……进一步在科学队伍中来一个思想大解放,只有把妨害社会主义建设总路线贯彻的种种思想障碍和迷信冲破了,才能使党的社会主义建设总路线,真正成为全体科学工作人员前进的灯塔。只有在思想上有了大跃进,才能够实现科学事业上真正的大跃进。"②

6月3日和5日,科学院京区研究单位举行跃进誓师大会,以"坚决贯彻党的社会主义建设总路线,破除迷信,扫掉陈规,使科学工作跃进再跃进,提早赶上世界最先进的科学水平"作为大会庄重誓言。大会骄傲地宣布:"我国科学事业的发展中,'一天等于二十年'的伟大时期开始了!"参加大会的有在京的学部委员、研究单位工作人员,京外单位代表等1 800多人。大会庄严誓师,号召以磅礴的气概扫荡陈规,破除迷信,"以排山倒海之势发起向世界科学高峰大进军",同时提出"苦战二十天,向院党代会献礼"。张劲夫主持大会,钱学森、陆元九、马大猷、叶渚沛等8个研究所的代表在会上做了发言。据竺可桢日记记载:钱学森保证要做到中国卫星上了天,力学所可以承担火箭和卫星高速飞行及大气中所受阻力表面加压加热问题、运动稳定问题、卫星结构问题及车台设计问题,十年内力学超过美国。自动化

---

① 《向党的八届全国代表大会第二次会议报告我们的工作跃进计划》,《中国科学院年报(1958)》,1959年,第121—126页。

② 张劲夫:《解放思想,在科学事业中坚决贯彻党的社会主义建设总路线》,《人民日报》1958年6月7日。

所的陆元九保证解决卫星进入轨道、发射及回到地球三个阶段的运行自动控制问题，保证做好长江三峡自动化问题，十月一日完成一个象征性人造地球卫星，包括半导体远距离控制测量元件。①

会上，各单位提出的指标不仅比不久前在学部跃进大会上的指标有了显著提高，而且在互相挑战、竞赛的启发下，许多单位的指标又一再跃进，提出了许多振奋人心的宏伟目标，其中有的项目和指标是过去不敢想、不敢说，更不敢做的。如自动化所提出围绕长江三峡水利枢纽的自动控制和自动化工业生产开展研究工作，保证在五年内和其他部门协作，解决三峡综合自动化的主要技术问题。为配合黄河、长江等水利工程的兴建，力学所弹性力学组决定在水坝抗震研究方面在不久的将来赶上世界最先进的国家。另外，还有64位代表在大会上做了激动人心的表态发言，他们一致表示："从不敢想到敢说敢做，并且有信心实现空前的跃进，主要是由于在党的领导下，明确了政治挂帅，解放了思想，破除了迷信的缘故。""要在科学研究领域中遍插红旗，把形形色色的灰旗白旗一扫而光。"②鉴于在科学院学部跃进誓师大会之后的20多天里，大家又创造了不少跃进成果，为此在大会期间还举行了向大会献礼的活动。紧锣密鼓的誓师动员、挑战竞赛、发言表态，标志着科学院全面进入"大跃进"时代，并掀起了"苦战二十天，向党代会献礼"的热潮。

跃进誓师大会结束后，科学院开展了一次全院范围的"务虚"活动，发动全体科研人员，放下手头的工作，坐下来"务虚"，讨论科学院的方向问题，如何开展"大跃进"运动。科学院领导班子认真总结建院九年来积累的经验，提出"以任务带学科，出成果，出人才"的办院方针，一切以任务为中心。另外，科学院党组还根据八大二次会议提出的"尽快地把我国建设成为一个具有现代工业、现代农业和现代科学文化的伟大的社会主义国家"和"在实现十二年远景规划的基础上，尽快地赶上世界先进水平"的要求，提出了《关于自然科学研究工作十年赶上美国问题向中央的报告》。报告提出，十年内要做到三件事：一、掌握新技术，重点项目是卫星上天和原子能和平利用；二、促进国民经济科学化，能够依靠自己的力量独立解决中国工业、农业、交通和卫生事业中重大复杂的科学问题。三、培养和建立一支有四五十万人的、又红又专的科学队伍。

7月1日至5日，科学院在京举行第二次党代会，中心议题是"贯彻总路线，政治挂帅，进一步加强党对科学工作的领导，实现科学工作不断的大跃进"。会上，张劲夫提出党领导科学大跃进的五项原则：以政治带业务，以红带专；继续解放思想，

---

① 竺可桢：《竺可桢全集》(15卷)，上海科技教育出版社2008年版，第108页。

② 《向世界科学最高水平挺进——中国科学院北京地区各研究单位举行跃进大会》，《人民日报》1958年6月8日。

破除迷信;走群众路线;组织科学工作大跃进;有节奏地组织跃进运动,一浪推一浪地前进。大会期间,共有 43 个单位向大会献礼 972 项,其中有 102 项声称已达到国际先进水平。[①]自 7 月初起,《人民日报》特辟“努力攀上科技的高峰”专栏,给“放卫星”提供阵地,科学大跃进“成果”随之频频见诸报端。一时间,高指标、高性能、新奇特的“成果卫星”竞相升空,“浮夸”成为科学大跃进运动的关键词。

自上而下的科技管理体制,使各级科研领导机构鹦鹉学舌般地传达上一级的精神与指示,为科学大跃进运动的全面展开做了充分的思想动员和组织准备。其中,整风运动贯穿“大跃进”思想动员的整个过程,目的在于为全面发动“大跃进”运动进一步清除思想障碍。经过 15 个月轰轰烈烈的大鸣大放、大辩论、大整大改,整风运动到 1958 年 8 月上旬“胜利结束”,随后,贯彻“总路线”、开展科学工作全面大跃进成为工作中心。[②]在“总路线”的鼓舞下以及工农业大跃进形势的倒逼下,科学界鼓起“敢想、敢说、敢干”的勇气,破除迷信、解放思想,积极响应“超英赶美”的号召,纷纷提出跃进目标,新产品、新技术、新工艺层出不穷,并一次又一次被刷新突破,把科学大跃进运动逐渐推向高潮。

第二节 力学界对“大跃进”运动精神的贯彻

力学是中国科学事业的重要组成部分,集中式科技管理体制决定力学界也必须开展“大跃进”运动。钱学森自始至终抱有尽快改变国家落后面貌的强烈愿望,然而对政治运动缺乏深入了解,不明就里地表态支持“大跃进”运动,希望借此推动力学事业突飞猛进,为国家建设多作贡献,以至于在动员力学界开展“大跃进”运动过程中走到了最前沿。但是,在学术旨趣、工作方法等方面,力学研究工作与“大跃进”运动的要求多有牴牾,这使钱学森顿生方凿圆枘之感,不免有难言之隐。如果说前述言论属于钱学森在公共场合应命而发,不足以代表他心里的真实想法,那么在动员力学界贯彻“大跃进”运动精神时,他的态度和看法是怎样的呢?

从长远角度来说,“技术科学基本上是为工程技术服务的科学”,以开辟新工业为主要目标。工农业生产大跃进可以带动技术科学发展,然而在“大跃进”政治语境下,国家对力学工作的要求是让力学更为直接地结合当前需要,为工农业大跃进解决实际问题。换句话说,力学工作应以什么样的方式贯彻理论联系实际的方针,

① 钱临照、谷羽:《中国科学院》(上),当代中国出版社 1994 年版,第 90 页。

② 《我院整风运动基本结束的指示——记中国科学院整风领导小组长会议》(原载《风讯台》51 期),载《中国科学院院报(1958)》,1959 年,第 151—152 页。

以促进工农业生产大幅改进和提高？1958年8月1日，中国力学学会常务理事会召开会议传达国务院科学规划委员会第五次会议精神，号召在力学界贯彻“大跃进”运动精神。学会理事长钱学森在会上做了“争取力学工作的大跃进”的报告。①

报告一开始，钱学森指出：我们搞科学“大跃进”的目的是为了建设社会主义，是为了生产，是为生产大跃进服务。“我们力学工作者今后一定要在我们工作中贯彻党和政府给我们的这一根本方针。党所指出的总路线是一条光芒万丈的道路，是一条胜利的道路，只要我们坚决地走这条路，尽快地在力学领域里赶上世界先进水平是没有问题的。”那么，力学怎样为工农业大跃进服务？如何贯彻理论联系实际的方针？工农业生产中有哪些与力学工作有关的问题？针对航空、运输、机械、水利、土木建筑、化工冶金和石油工业、农业生产等七个领域，钱学森从生产发展的实际需要出发做了深入思考，提出了许多具有重要应用价值的研究方向与任务，并分别予以精深独到的分析。

在航空航天方面，他说：“在超声速飞行中，一个不可避免的现象是激波的出现和随之而来的阻力。因此，一个很实际的问题是减小阻力问题。我们知道，激波与飞体的干扰可以改变激波的强度，这就有可能选择最有利的几何形状，以削弱激波的强度，从而减少阻力。另一方面，由于粘性的存在，边界层与激波的交互影响、飞体表面热的传导，以及摩擦阻力等问题也要研究。”另外，“如果飞行器的速度在5倍声速以上，像导弹在高空重入气层时的情况，物体表面的温度极高，边界层气流里可能发生分离甚至电离，或其他复杂的化学过程。研究这些现象以及它们对于传热和气流的影响是具有实际意义的。”针对卫星及大气层之外的空间飞行，他指出：“这里主要的问题是空气稀薄、经典力学里的连续介质的概念已不适用了，而必须替以更接近实际的非连续的概念，要把介质认为是由大量质点所组成的。研究物体在这种气体里飞行的特征，对星际航行问题将起极大的推动作用。”他讲到，由于飞体的速度和重量的增高，结构强度的要求也随之提高，这就必须考虑高温和低温情况下物体的强度问题，如飞体外壳、燃烧室、贮藏燃料箱等。此外，还提出在推进器设计上需要考虑进出口的设计，尤其是进口气流的稳定问题。有关推进器的效率尚有燃烧的问题，他在这里提出两个主要问题：一个是冲压式喷气推进机燃烧室火焰稳定问题，另一个是火箭燃烧室内燃烧调节问题。

在机械制造方面，他以动力机械制造为例说：“我国正朝着30—50万千瓦巨型水轮机和20万千瓦的汽轮机或更高的功率的目标前进。在巨型水轮机方面应特别注意研究零件变形和应力的情况，以及空蚀现象。”在汽轮机和锅炉方面，应注意

① 钱学森：《争取力学工作的大跃进》，《力学学报》1958年第4期。

开展有关叶片轮设计的强度(蠕变、振动)问题的研究。对于燃烧设备,应注意像旋风燃烧室的研究。在燃气轮机的设计方面,除了固体力学方面的问题(零件强度),还应开展燃气轮装置中有关空气动力学、传热和冷却问题的研究。另外,燃烧室的设计(特别是在使用剩余油和煤粉燃料的情况下)也应从力学方面配合研究。

在水利工程方面,他特别谈到大型水坝的力学问题:“由于黄河和长江的流量大,并且坝址所在,河面狭窄,坝身一般很高,像三峡水坝,就是很突出的例子。为了解决这些大坝问题,就要研究以下力学问题,如岩石地基上高坝的稳定,岩石地基的变形和应力及渗透,坝底应力分布,坝体的应力分析,混凝土坝内温度的变形和应力,坝的地震应力等。此外,坝内厂房断面的应力分析,闸门的振动和空蚀问题,坝顶溢洪的水流稳定和搀气问题等也急须解决。”另外,还提到低水头发电、潮汐发电等课题。

在土木建筑方面,他重点谈到建筑物结构抗震和爆破问题。他说,由于我国一半以上的地区居于地震区,所以须要注意抗御地震的问题。“现行抗震设计是经验的,而没有很好的理论根据,还大有改进的可能和必要。因此,我们应该研究抗震建筑物的最合理和最有效的结构形式和结构措施。”关于爆破问题,他说:“爆破工程已经发展为筑路、开矿、水利建设中一个很重要的专门技术。其中很有实际意义的研究工作之一,是如何合理而有效地埋置炸药和控制爆破时间,使被爆破的岩石或矿石沿着指定的方向抛出,而且落入指定的区域,这样便可以在极短的时间内搬运大量的土方。”

在化工、冶金和石油工业方面,他提出应用流体力学的方法来加强研究工作。“掌握了固定床、移动床和流态化床(沸腾床)的流体力学,传热和传质的现象,才能使新型的热交换器和冶炼炉得到发展。实际上在燃料、冶金和化学工业中,流体和固体的联合流动现象是十分普通的,研究像旋风炉这一类设备中的空气动力学问题,用气体或液体输送固体是很值得研究的,这又联系到流变学(非牛顿流动)的领域。”针对重有机合成工业的需要,他提出“必需研究各种反应器内部流动、传热传质和化学反应过程的机理和相似律”。在高强度材料制造方面,他说:“研究如何利用一些物理化学的因素来控制固体的力学性质和加工过程,掌握具有一定结构和性质的固体的形成过程是新兴科学——物理力学的中心课题。”在化肥生产方面,他提出:“由于化学激波管能够提供可控制迅速升温和降温的途径,也就提供了一种从空气直接合成氧化氮的可能性,关键是如何具体实现有经济价值的连续工艺过程。”

这些研究课题既具有明确的应用目标,又具有很强的前瞻性和科学性,每一项都可以带动相应的技术科学学科的发展,较好地贯彻了“以任务带学科”以及以学科促任务的原则。即使不撇开特定的政治环境,这些研究课题仍充满着创造性的

思想火花，让力学界认识到力学与工农业生产是息息相关的，为力学等技术科学服务工农业生产指明了努力的方向。可见，即使是在“大跃进”环境下，钱学森依然坚持把科学活动与国家需求结合起来，把服务国家建设作为技术科学工作的出发点，努力尝试去组织、推动技术科学研究工作的开展。

在报告第二部分，钱学森顺应政治形势违心地批判了以钱伟长为代表的阻碍“大跃进”运动的“资产阶级思想和学风”。在报告第三部分，钱学森认为力学界开展“大跃进”运动需要坚持以下方针和路线：第一，政治是统帅；第二，理论联系实际；第三，群众路线；第四，鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义。他号召力学工作者面向生产，把理论知识充分地应用到生产问题中去，“我们研究力学决不能是孤立的发展力学学科，制造论文，个人扬名。”怎样联系实际，联系生产？他说：“应该到生产中去了解问题，应该到生产中去补课，应该和工程师一道解决生产中的问题。”在这里，“力学工作者决不能够斤斤计较问题内容的学术性，够不够世界水平，也就是配不配来研究，只要是生产中须要力学工作者来解决的问题，我们就应该做。”哪些属于联系实际、结合生产的力学问题？除了从以上七个领域提出的课题外，钱学森还将力学研究工作分为“大型”、“中型”、“小型”这三种类型，并分别予以解释。

关于“小型”的工作。他举例说，固体力学方面的应力分析和强度问题、振动问题，流体力学方面的液体或气体在管道中流动等问题，这类问题在工程技术里经常出现，也是力学工作者经常需要解决的问题。“这些在我国生产中大量出现的水平不太高的力学问题，可以作为力学工作中的‘小型’或‘初’型问题。”

关于“中型”的工作。他说，就是“利用力学已有的知识，积极地、大胆地提出改进或改造现有的工程技术”。例如，将空气动力学知识应用到化工过程，提出用化学激波管从空气连续生产一氧化氮的方案，并研究用化学激波管来生产联氨和乙炔。这些设想一旦实现，就会引起化工工艺的技术革命。简言之，应用既有的力学知识提出生产新方案，搞技术革命，并要克服许多困难才能实现，这类工作算是力学工作中的“中型”工作。

关于“大型”的工作。他说，力学不只是把已有的理论应用到生产问题中去，还要努力提高水平以迎接新技术。例如，超声速和高超声速飞行，人造卫星和星际航行，以及原子能和平利用中存在的困难力学问题，“它们都是力学工作里面的尖端问题”。这类课题属于力学工作中的“大型”工作。

对于这三种类型的力学工作，钱学森认为它们在国民经济里都有重要意义，决不能只重视一种类型的工作而忽视其他任何一种类型的工作，“应该是大、中、小相结合，高、中、初相结合。使用力量时要考虑全局，作适当的安排，不可偏废。”

在动员力学工作者理论联系实际，大力研究生产实际中的力学问题时，钱学森不忘提醒大家要分清力学工作与工程设计的区别。他说，在强调联系生产实际的同时，“并不是要力学工作者去代替工人，代替工程师的工作”。力学工作者的任务是参加实际生产，在其中发现力学的问题，然后运用力学理论知识和实践经验去解决它，从而在生产中贡献出自己的力量。“我们所反对的是不从生产实践中去找研究对象，而不是要取消力学的工作。”进而，他还对力学工作理论与实际的辩证关系作了一番解释，他说：“理论联系实际并不是说只要实际而不要理论。实际和理论是辩证地互相推进和发展的。我们从为了解决实际生产问题出发，把理论应用到实际中去，帮助技术向前迈进一步，而同时我们在实践中的体会使我们在理论的认识上又深入一层；而且实践中也会发现一些从前所不知道的问题，这就是发展和丰富理论的养料，理论因而得到提高；而提高了的理论又可以进一步推动生产实践。只有这样，理论才会不断发展，也保证了技术和生产的不断更新和提高。”所以，力学工作在联系实际的同时，“也要发展理论，以及建立力学研究的新部门。”在这里，他特别指出：“力学新领域的研究其实也不是纯学科问题，而还是有一定的生产目标的，是为了一定的即将到来的新技术服务。而且在发展一门新学科时，我们还是采取以任务来带动的方法，还是通过研究和解决具体生产中的问题来充实和丰富它的内容，只有这样才能保证学科不脱离实际。”为此，他要求力学工作者广泛吸收各学科的新方法和新技术，促进力学发展，“对其他自然科学部门像天文学，地质力学，气象学，生物物理学，因为其中力学的理论可以帮助这些科学的研究，我们力学工作者也要支持他们，使他们能更快地发展。”

在报告的最后，钱学森号召力学工作者在全国万马奔腾的形势下，“决不能袖手旁观。我们一定要挽起袖子，拿出干劲，要做到那里有生产中的力学问题就到哪里去，有问题就帮助解决。我们也要让力学工作随着工农业而遍地开花，决不能还把力学研究作为是可以关起门来做的。我们要冲破研究室的四壁，到广大的生产场地去工作！”还要求大家“向党、向全国人民保证，在力学工作领域内，在很短时间内超过美国！要在力学学术和研究上压倒美国！要鼓足干劲、力争上游，在社会主义建设的伟大事业里做一个促进派！”

技术科学为工程技术服务，主要是研究解决工程技术中带有共性的关键问题，在研究这些问题的过程中，注意总结其中的普遍性规律，进而丰富技术科学自身的学科内容。但是在“大跃进”形势下，政府要求理论科学直接为生产任务服务，解决生产实际中的具体问题，这就将理论联系实际的方针庸俗化了，将“实际”简单片面地看成生产实际。而且，把联系实际的研究工作视为走社会主义道路，属于“红旗”；把一时与生产没有直接联系的理论研究工作视为走资本主义道路，属于“白

旗”。如果理论研究工作找不出联系实际的课题，不能与生产直接结合，只会写论文，就会被当作走资本主义道路，并被“拔白旗、插红旗”。此时，学术共同体的价值追求与凶猛的政治狂浪之间产生了不可调和的矛盾，作为技术科学领军人物的钱学森主动适应政治环境，希望在为生产服务的前提下坚持学科理论建设，借助力学的应用价值为其生存和发展寻找空间。从动员报告的内容可以看出，钱学森比较娴熟地拿捏着分寸，引导力学界去做有实际意义的研究工作，但受政治环境左右，不可避免地夹杂着“大跃进”时代的话语。

第三节　力学所工作方向的转变

在“破除迷信，解放思想，发扬敢想、敢说、敢干”精神的鼓舞下，科学院各单位闻风而动，纷纷制定出远大的跃进计划。“总路线”传达到力学所后，全所出现了热情高涨、干劲十足、热火朝天的跃进场面。力学所在一份总结中说：“全所人员热情地于六月初苦战七昼夜，完成和基本完成了 32 项研究项目和实验设备”。在苦战过程中，“研究人员、金工厂、图书馆到厨房的工作人员、行政人员都通宵达旦的投入工作，出现了共产主义协作的高尚风格，出现了研究人员支持金工厂，图书馆为了支持研究工作自动把书送上门，炊事员同志主动把夜宵送到研究人员的办公室等许多动人的事迹，这次苦战改变了我所过去理论脱离实际的落后状态，开始形成研究工作面向实际，面向生产的良好作风。”其间，还“出现了不少破除迷信、解放思想、敢说敢想敢干的先进事例。”①尽管大家如此努力，但力学所等科学院研究机构的学术建制基本上是从学科出发设立的，一时无法与生产任务紧密结合，也就很难在短时间内拿出像样的跃进成果，更不要说实现“大跃进”了。若要取得大突破，出亮点，放卫星，就必须在组织体制和工作模式上进行破旧立新。于是，科学院决定积极贯彻“以任务带学科”的方针，把有限的科研资源集中在最有作用的、最有意义的、最有可能立竿见影的重大任务上。

继科学院“务虚”活动之后，各研究所深入发动群众，调动大家的积极性，集思广益，设法找寻为工农业大跃进服务的好办法。力学所也开展了解放思想的运动，提倡敢想、敢说、敢干的共产主义风格，开展了“人人献技，个个献策，四年超英，八年超美”的务虚运动，提出“苦战三年改变力学所无设备、缺研究力量的面貌”。全所人员跃跃欲试，各尽所能，试拳擦掌，要求抱“大西瓜”，互动声势浩大，就今后的

① 《中国科学院力学所概况》，中国科学院档案馆，案卷号：A011—020。

研究任务、理论联系实际、组织机构、对外联系、实验设备等问题竭心尽智，提出了1 600多条意见，其中钱学森、郭永怀两位所长各自献技30余条。这次“务虚运动生动地说明了群众的促进精神，如风洞组原来在5年计划之内(即1962年以前)完成的M=2、M=6的超声速风洞，跨声速风洞，二相风洞均提早到1959年内完成。1960年左右开始着手进行的等离子体风洞也提前到1959年完成，其中等离子体发生器更跃进到今年‘十一’献礼，其他如有关高温气体的研究工作，燃烧方面的研究工作指标比过去也有很大程度的跃进”。①在此基础上，7月13日力学所党委书记兼副所长杨刚毅特地约钱学森、郭永怀到颐和园万寿山“务虚”，即力学所历史上有名的“万寿山会议”(亦称“三巨头会议”)。在总结全所人员意见的基础上，他们经过反复讨论研究，认为力学所的工作任务应是研究与星际航行、开发地壳以及海底航行有关的力学问题，并将其概括为“上天、入地、下海及为工农业生产服务问题”。

何为“上天、入地、下海及为工农业生产服务问题”？具体说来，“上天”，即开辟星际航行，具体目标是在1962年、1963年以前发射一系列的探空火箭与小型人造地球卫星，1962—1963年间发射重达20吨的人造地球卫星以及达到火星的视测体。“入地”，即利用喷气技术向地球表面以下几十公里直至几十上百公里喷射高温高压气体，进行钻探，利用化学流体力学办法使高温液体与地下矿藏发生化学变化，再行吸出进行冶炼，这样可以省去开矿中所用的大量打井设备和地下地上建筑投资，并大大减轻采矿工作中的繁重劳动。“下海”，即海底航行问题，主要研究几万吨巨型潜水艇，这种新型船舶可以避免在水面上航行时船体所激起的造波阻力，从而大大提高航速。“为工农业生产服务问题”，即研究工农业生产中的力学问题，其中较大的有长江三峡大型水利枢纽中的力学问题、水坝抗震、百万千瓦水轮机设计、化学激波管固定氮等。②

随后，力学所立即向科学院党组提交了这个宏大计划。以“上天、入地、下海，服务工农业”这样一个言简意赅、琅琅上口的行动口号，力学所将各种类型的具体任务串通起来，称得上是任务明确、口号响亮、高速度和高目标的跃进计划，因而被科学院树为先进典型，成为“卫星所”，并被推向科学大跃进运动的风口浪尖。7月23日，科学院党组特地在力学所召开现场会，让其他研究所来学习取经。钱学森等三位所长向大家介绍力学所的跃进经验和宏伟计划，使大家备受启发。当时，有人写出几首诗贴在会场，诗曰：

干：不到火星非好汉。驾东风，卫星天上转！

①② 《中国科学院力学所概况》，中国科学院档案馆，案卷号：A011—020。

说：豪言壮语献计多，天、地、海，无坚攻不克！

想：不迷权威不迷洋，集广思，宇宙入我掌。[①]

这些充满虚幻浪漫色彩的跃进目标虽然高不可攀，却如此美妙，令许多人沉醉、向往，让大家产生一种将其变为现实的不可抑制的强烈愿望，觉得值得为之焚膏继晷、废寝忘食。力学所青年研究人员王礼立为此激动得写了一首诗，题为“没有翅膀要飞天，不坐飞机坐火箭”，在大会上朗诵，随后又刊登在科学院院刊《风讯台》上。后来，钱学森碰见他时，有时会笑着问他：“最近又写了什么诗啊？”[②]

“上天、入地、下海，服务工农业”这个宏伟的跃进目标确定以后，力学所的工作方向与任务发生了根本性变化。为了实现这些目标，力学所决定采取以下措施：一、系统地总结对于今后研究工作开展具有重大意义的力学方面的理论；二、大力培养设计队伍；三、扩充与建立风洞、激波管、燃烧、热应力、振动等实验室；四、自办学校解决研究人员与技术人员的来源问题；五、扩建金工厂，使它能担当所有机械加工方面的任务；六、依据“以任务带学科”的方针对研究组织进行全面调整，也就是从四大任务出发组建四个研究室。[③]紧接着，根据力学所党委和钱学森的意见，力学所对组织体制进行调整，将原来根据学科建立的六个研究组取消，重组为四个任务型的研究室和一个承担“581”任务的设计院，仅保留运筹学研究室。四个任务型研究室，分别研究“上天”、“入地”、“下海”及与工农业生产有关的力学问题，它们的工作方向与任务大致如下：一室负责与“上天”有关的工作。1958 年 8 月，力学所领导小组通过科学院党组向中央提交《关于高速度地发展我国火箭技术的报告》等报告。报告得到中央批复后，科学院与力学所立即着手布局运载火箭、人造卫星等方面的研制工作，包括成立“上天”设计院等。后来，力学二部承担了火箭设计、研制和试验方面的任务。一室由钱学森、郭永怀直接掌握，主要负责人有林同骥、林鸿荪等。二室负责“入地”任务，搞爆破、深钻。重点发展火箭钻，学习爆破知识，开展爆破研究与实践，由钱寿易任主任。三室承担“下海”任务，负责水翼船与水洞设计，以水动力学为主，包括船舰、鱼雷等的设计理论和实验。四室面向工农业生产，开展与国民经济建设有关的力学工作，由郑哲敏负责。不久后，又成立了一个专门从事力学测量技术研究的研究室，后来称为九室。[④]

在贯彻理论联系实际方针的过程中，力学所片面强调直接为生产实际服务，名

---

① 路甬祥：《向科学进军——一段不能忘怀的历史》，科学出版社 2009 年版，第 69 页。

② 王礼立：《回忆钱学森老所长二三事》(之五)，http://blog.sciencenet.cn/u/llwangch。

③ 《中国科学院力学所概况》，中国科学院档案馆，案卷号：A011—020。

④ 郑哲敏：《力学研究所访谈》，载胡亚东等：《中关村科学城的兴起(1953—1966)》，湖南教育出版社 2009 年版，第 109—112 页。

义上"以任务带学科",在实际执行中学科往往被置之脑后而不顾。这样一来,根据科学规划以及技术科学思想建立起来的力学所,按照学科组建的"研究组织彻底改变,以任务的区分来成立了五个研究室,每一个研究室都确定了一个远大目标,不是尖端技术便是重大问题。"①这个改变对后来工作的负面影响非常严重。为了对接型号研制任务,正常的科研秩序被打乱,许多正在进行的研究课题被迫改变方向或中止,既有的学术积累和研究经验也被抛弃,研究人员的心血轻易地付诸东流,尤其是对与生产建设没有直接联系的理论研究工作采取了简单的否定态度,甚至直接取消了一些正在进行的、很有发展前景的理论研究课题。力学所工作方向的逆转表明,在政府指示、科学家照办的科学体制和运作模式下,科学工作没有任何自主性,必须根据政治需要做出随意任性甚至是违背规律的调整,以致折腾不断,后患无穷。而且,科学工作者必须服从政治需要,不得讲价钱,只能作驯服工具,为求得政治上的合格,不得不放弃发展学科理论的学理追求,围绕实际需要开展工作。

第四节 "上天、入地、下海,服务工农业"

4.1 "上天"——贯彻"我们也要搞人造卫星"的指示

1957年10月和1958年3月,苏联和美国相继发射人造地球卫星。竺可桢、钱学森和赵九章等人借机提议中国也要尽快开展人造地球卫星研制工作。他们认为,人造地球卫星是一项综合性很强的工作,从"任务带学科"的角度考虑,可以带动许多新兴科学技术的发展。张劲夫立即把这一重要意见反映到了中央,引起了中央领导人的重视。

1958年5月17日,毛泽东主席在中共八大二次会议上宣布:"我们也要搞人造卫星"。为了落实毛泽东主席的指示,中央书记处当天便开会研究落实,决定由科学院开展人造地球卫星研制任务。主管科技工作的聂荣臻副总理委派张劲夫、钱学森和国防部五院副院长王铮负责人造卫星的规划工作。7月,科学院党组向聂荣臻副总理呈报了分"三步走"的人造卫星研制计划:第一步发射探空火箭,第二步发射小卫星,第三步发射大卫星。并确定运载火箭以国防部五院为主,科学院配合;探空头和卫星头及观测工作以科学院为主,国防部五院配合。

① 钱学森:《如何迈第一步(中科院1959年所长会议讲话)》,中国科学院档案馆。

8月,科学院召开会议,决定由钱学森、赵九章、郭永怀、陆元九等负责拟定发展人造卫星的规划,并把它定为科学院1958年的头号政治任务,代号为“581”。“581”任务包括研制人造卫星和运载火箭两大部分。紧接着,科学院成立我国第一个卫星总体规划设计机构——“581”组,钱学森任组长,赵九章、卫一清任副组长,成员有力学所杨刚毅、自动化所武汝扬、电子所顾德欢、化学所华寿俊等,负责组织和协调人造卫星和探空火箭的研制。另设技术小组,由钱学森、赵九章主持。会议还决定,以力学所、自动化所、地球物理所三个所为基础,成立三个设计院:第一设计院设在力学所,负责人造卫星总体设计与运载火箭的研制,郭永怀、杨南生任正副院长,钱学森指导全面工作。第二设计院设在自动化所,负责控制系统的研制,分设三个研究室,工作方向分别是姿态控制系统仿真、遥控遥测和运动物体控制,亦称自动化所二部。第三设计院负责探空仪器与空间物理研究,亦称地球物理所二部,赵九章、钱骥负责科技领导工作。

随着“上天”计划的实施,科学院向力学所下达了运载火箭、人造卫星的研制任务。力学所积极承担“上天”任务,将运载火箭和人造卫星列为全所工作的重中之重,全力为尖端技术的突破服务。8月21日,力学所领导小组起草了《关于高速度地发展我国火箭技术的报告》,就长远计划中的“上天”即发展人造卫星和运载火箭技术,提出了具体的研制计划。①报告写道:“为了开拓人类物质文明的新领域,揭开宇宙空间的秘密;巩固国防,消灭帝国主义战争,保障世界和平;都需要高速度地发展我国的火箭技术;并力求在较短的时期内,把巨型(20 000公斤重)人造地球卫星送上天,打开星际航行的大门;掌握各种射程(最大射程为地球表面最远距离,约2万公里)的洲际导弹的技术,从而使东风更加强大,西风更加微弱,争取早日实现全人类的大解放。”为实现这些科学与政治目标,决定“高速地发展我国火箭技术,并力争在三、五年内超过英国,赶上美国,以巩固国防,保卫和平”。

报告认为:“高速度地发展我国火箭技术,不仅是可能的,而且已经具备了一定的条件。首先工业我国已有完整的航空工业体系,这就是制造火箭的基础;其次为超高速飞行所必需的高温合金材料和高能燃料的研究,已经有了初步的成果;其三为超高速飞行所必需的试验设备(如超音速风洞等),有的在开始建设,年内可望建成,(不包括国防部门)有的正在和即将进行设计,可望明年建成;其四为超高速飞行所必需的远距离自动控制等问题的研究,正在积极进行;其五目前基本上掌握了现代火箭技术的理论知识,有条件实行边干边学的进行设计与试制。所有这一切,

① 力学研究所领导小组:《关于高速度地发展我国火箭技术的报告(1958年8月21日)》,中国科学院档案馆。

加上党的正确领导，求得高速度地发展我国火箭技术，是勿用怀疑的。”

并且，报告拟订出初步的行动计划：一、从 1958 年第四季度开始，着手设计用普通燃料、新型稳定方法的探空火箭，推力 20 吨左右，高度 300 公里左右。预计明年第三季度试制成功，国庆节前后试放。二、从 1958 年 9 月开始，着手研究高能燃料（何种燃料尚待试验选择）火箭，争取明年春进行设计，年底或 1960 年初试放，推力 40 吨左右，高度 700 公里左右。三、从 1958 年第四季度开始，着手进行人造卫星的理论研究，以便在上述两个探空火箭试放成功的基础上，进行三级火箭的设计与试制，争取 1960 年底或 1961 年初发射 100 公斤到 1 000 公斤重的人造地球卫星，此时也能进一步发射人造月球卫星。四、争取 1962 年底以前设计与试制原子火箭，如获成功，“即可发射主席所号召的 20 000 公斤重的人造地球卫星。此项工作，目前即应联合有关单位着手准备，苦干四年，可望成功。届时不单是巨型卫星上了天，而且能向火星上放射测视体或人造火星卫星”。五、在第三个五年计划期内努力解决卫星重回地面问题，争取开始人在星际间的航行。六、开展与火箭技术有关的火箭飞机的研究。第一步的设想目标，是在 20 分钟左右、航行 3 000 公里。这项工作拟从明年春开始，年内完成设计与各种试验，1960 年试制和试飞。鉴于这个计划是一个长远规划，报告还据此制定了近期工作计划，即在头一、二年内进行小型火箭的研究与试制，锻炼队伍，为今后的大发展打基础，以便有条件向更高阶段发展。

为完成这个涵括探空火箭、运载火箭、核火箭、人造地球卫星以及载人航天的庞大跃进计划，报告提出采取以下措施：一是扩大研制队伍。“需要人数，从现在起到明年底，约需 2 000 人左右”，“预计到 1962 年发展到 6 000 人”。为了解决迅速人员不足，提出开办星际航行学院，从 1959 年到 1962 年每年招收大学三、四年级学生 1 000 人。二是加速建设试验设备。“准备苦干一、二年，建立试验基地（拟在京北或京西山区）一处，其中风洞 6 个，包括超音速 2 倍到 25 倍的（和国防部第五院并不重复并将配合使用）；从 100 公斤推力到 75 吨推力的试车台 3 个；此外，还有试验金属强度、推进剂性能、火箭结构……等实验室。”三是加快研究工作进度。四是成立火箭研究院（可定为五九一设计院，取 1959 年 10 月 1 日发射探空火箭之意）。暂由郭永怀、杨南生分任正、副院长，钱学森负责全面指导。除五九一设计院以外，力学所第一研究院将全力从事火箭技术及未来星际航行的理论研究，北大、清华等单位也准备积极参加。五是加强领导，由中央各有关部门、北京市委和有关科学家共同组成一个协作委员会（对内可称星际航行委员会，对外称五九一协作委员会），委员会下设秘书长、副秘书长，主持日常工作。力学所的一部分可以作为委员会的办事机构。

为保证上述计划和工作措施的落实，报告认为必须坚决实行政治挂帅、加强党的领导，贯彻“总路线”。一是继续纠正重理论不重实际和理论脱离实际的学院式作风，实行理论研究、工程设计、产品试制三者相互结合。“要求每一个研究人员，既要不断提高理论水平，又要学习工程设计，同时抽出必要时间进入工厂，作些体力劳动，从而彻底改造理论脱离实际的教条主义的研究风气。”二是贯彻“土洋并举”的方针，坚决依靠群众多数，群策群力，发挥集体智慧，大胆独创，批判“一切迷信洋人，迷信外国，不相信自己的思想”。三是提倡共产主义大协作的风格，批判各色各样的本位主义思想和互不协作的思想。四是在党员干部中加强党性锻炼，要求人人服从工作需要，服从组织分配，埋头苦干，苦心钻研，力争尽速做到又红又专，反对只红不专，以及一切个人打算的不良倾向。五是戒骄傲自满，时刻保持谦虚态度，养成谦虚谨慎的风气。六是提倡苦干、实干、多做少说，反对华而不实，粗而不细，浮而不深等不良倾向。七是进行保密教育，要求自动和自觉地保守一切研究成果的机密，并建立严格的保密制度，共同遵守。

力学所这个跃进计划的目的在于为科学院“大跃进”运动打响头一炮，放一颗大“卫星”。然而，根据当时情况，尤其是科学院在国家总体布局中的分工和实力，在一无理论储备、二无技术积累、三无研制能力的情况下，要在这么短的时间内一步登天，使用运载火箭把人造卫星送上太空，显然是不可能实现的目标。事实也证明，这个跃进计划大大脱离当时国内科技和工业的实际水平，对力学所来说无异于蚍蜉撼大树。它让研究人员处处捉襟见肘，无所适从，但事不由己，不得不硬着头皮去无条件地贯彻实施。

依据“581”任务的要求，8 月 21 日力学所召开会议，对组织机构和工作机制进行再次调整，成立第一设计院（代号为 1001)，负责总体气动设计并承担运载火箭研制，下设运载火箭总体、发动机、风洞、非标准设计（后改称试车台）四个部，还宣布了各部成员和领导干部名单，副所长郭永怀任院长，杨南生任副院长，钱学森指导全面工作。会上，还成立了以杨南生为组长的技术核心组作为第一设计院的技术领导机构。这样一来，以技术科学理论研究为主的力学所转行了，摇身一变成为承担航天型号产品研制的设计院。

第一设计院成立之初，已有的研制人员无法满足研制任务对设计人员的庞大需求。为了扩大研制队伍，力学所派杨刚毅“周游列国”，赴天津、沈阳、长春、哈尔滨、西安、重庆、成都等地高校和科研机构游说，动员各单位派技术人员参与这个全国大协作的项目。不久，天津、东北、西北等地的技术人员陆续来到力学所，使设计院研制人员由 20 多人迅速扩充到 100 多人。另外，科学院还从清华大学工程力学研究班首届学员中抽调出一批尚未结业的学员参加“581”任务。从保密和提高效

率的角度出发，设计院租用西苑大旅社 10 号楼两层楼面，全体人员集中住在楼内，开始紧张的研究设计工作。有一段时间，技术核心组成员几乎每天下午都被张劲夫召去讨论问题，钱学森是其中的核心人物，因为他是唯一的内行，既有理论又有丰富的实践经验，会上提出讨论的问题，他都发表看法和意见。①

经过反复权衡，第一设计院决定首先设计代号为 T3 的运载火箭，以液氟—甲醇作为第一级火箭的推进剂，计划将其用作发射我国第一颗人造卫星的运载火箭。这项研制工作抓得非常紧，研制人员热情也很高，夜以继日，焚膏继晷，“不怕做不到，就怕想不到”，在工作上“破除迷信”，花样百出。在生活作息方面，“行动军事化”，早上要跑步，除一日三餐外，其他时间全扑在工作，实在太累了就到宿舍打个盹又继续工作。②通过与院内外 31 个单位协同合作，设计院奋力拼搏了两个多月，于 1958 年国庆节前完成了 T3 运载火箭的总体设计和总图，还制作出了两种载有多种高空环境探测仪器及动物舱的探空火箭头部模型。在 10 月 5 日科学院自然科学跃进成果展览会上，力学所送展了人造卫星、T3 运载火箭设计图和模型，以及两个包括载有科学探测仪器和小狗的探空火箭头部模型。

在“大跃进”运动高潮阶段，科学院提出《组织科学院有关研究所及有关力量制造和发射人造卫星的方案（草案）》，总的目标是“苦战三年（1958—1960），实现上天”。10 月 5 日，科学院又向聂荣臻副总理呈送报告，提出在继续配合国防部五院的工作之外，科学院准备组织一支运载火箭研制队伍，采取不同途径，双方齐头并进：国防部五院以仿制为主，先从一般燃料（常规推进剂）入手；科学院则创新探索，从高能燃料入手。根据这个方案，全国将在火箭研制方面形成国防部五院、科学院这两大中心。随后，力学所迅速行动起来，成立两个新的研究设计机构，即负责卫星和运载火箭设计的“上海机电设计院”与探索高能推进剂组合与火箭发动机地面试验的“怀柔试验基地”。11 月，张劲夫以中央候补委员身份参加了在武昌召开的中共八届六中全会。会议期间，他向中央书记处汇报了科学院对研制人造卫星的意见和计划，获得同意，中央政治局还决定拨专款 2 亿元支持科学院研制人造卫星。随后，这批专款用于建设高能燃料和火箭发动机、上海机电设计院这两个试验与研究设计基地，以及水声工作站、风洞、“581”实验室、109 厂，上海、大连、长春高能燃料研究室和电子、自动化、高温金属、光学等四个配套工厂。

运载火箭的设计与试制需要比较齐全的工业配套能力。为利用上海地区雄厚

① 吕德鸣：《我的航天情结》，载赵炳时、胡绍学编：《清华大学工程力学系成立暨工程力学研究班创办五十周年庆贺文集（1958—2008）》，中国建筑工业出版社 2008 年版，第 125—130 页。

② 刘汝滨：《李敏华先生的爱国情结》，载李和娣主编：《固体力学进展及应用——庆祝李敏华院士 90 华诞文集》，科学出版社 2007 年版，第 356 页。

的工业基础和条件，科学院通过与上海市委协商，决定把第一设计院迁到上海，成立“中科院上海机电设计院”，继续研究设计运载火箭，业务上由上海市和科学院力学所双重领导，党的关系由上海市委领导。在杨南生副院长带领下，1958 年 11 月初第一设计院火箭总体设计部和发动机部（不包括推进剂组）的 100 多名研究设计人员南迁上海。从此，第一设计院一分为二。迁沪后，上海市委高度重视这个“大跃进”项目，迅速从各单位调入大批技术人员，增强研制队伍，到年底总人数达到 600 多人。上海机床厂厂长艾丁调入设计院任党委书记，交通大学动力机械系王希季副教授调入设计院任总工程师。另外，还安排解放军 5703 厂（负责壳体和总装）、上海柴油机厂、四方锅炉厂（负责发动机）、上海机床厂（负责控制系统）等工厂承担产品零部件和试验设备生产加工任务，形成了一个较为完整系统、实力较强的研制、生产加工协作网络。为了锻炼队伍，上海机电设计院决定先搞一个使用常规推进剂、较小的探空火箭 T-5。T-5 研制较为顺利，进展很快，T-5 的箭体结构和发动机系统都做出来了，但因为没有试验和试车，最后没有进行发射。①

另一方面，力学所着手筹建怀柔试验基地。“581”任务上马之初，钱学森认为火箭燃料很重要，主张搞新的高能燃料，向张劲夫提出“科学院要把科研重点放在开发自己的高能燃料上，这样火箭才能做得大，射得远”。②这个意见受到科学院的高度重视，张劲夫与钱学森商定，让力学所承担这项任务，并建设一个试验基地。当时，液氢液氧燃料是钱学森考虑的对象之一，而我国的液氢低温技术没有基础，科学院随即安排物理所开展液氢低温技术的探索研究。第一设计院的总体部、发动机部 100 多名技术人员南迁上海以后，留京的推进剂部（代号 121 部）与试车台部（代号 130 部）的技术人员立即着手筹建怀柔试验基地（对外称北京矿冶学校），其任务是探索和开发用于远程火箭的高能液体推进剂和发动机的地面试车。北京矿冶学校下设办公室与技术处，技术处负责整个矿冶学校的技术工作，下设推进剂、机械、电气与土建四个专业组，承担基地试验系统的设计与筹建。

建设适合高能燃料研制要求而又便于科研人员工作的试验基地，选址十分重要。力学所委派朱兆祥负责在北京郊区选址，国家民航局为选址人员调拨了一架飞机作从空中巡视选点之用。据朱兆祥回忆，第一次登机选址，除了他本人及北京市城市规划局冯副局长外，还有科学院张劲夫、副秘书长谢鑫鹤和基建局局长张庆林。他们对照军事地图，在北京上空盘旋了一个多小时，发现一处四面环山、丛林密布的山沟。他们都认为这个地方建设火箭发动机试验台比较理想。于是，他

① 吕德鸣：《我的航天情结》，载赵炳时、胡绍学编：《清华大学工程力学系成立暨工程力学研究班创办五十周年庆贺文集（1958—2008）》，中国建筑工业出版社 2008 年版，第 125—130 页。

② 路甬祥：《向科学进军——一段不能忘怀的历史》，科学出版社 2009 年版，第 102 页。

们就选定这个地方作为研制高能燃料的试验基地，此地属于怀柔县西流水乡坟头村。[1]怀柔试验基地的基建工作由科学院基建局和力学所共同筹划，力学所由朱兆祥和基建处华能处长负责。

地址选定之后，试验基地的建设工作迅速展开，虽然1959年初中央对"上天"任务进行重大调整，但承担高性能推进剂研究的怀柔试验基地仍然继续建设。仅仅用了两年多时间，试验基地的基建就已初具规模，包括S1、S2、S3试验区以及机械加工车间、推进剂仓库、器材仓库、化学楼、生活区等，以及配套的公路、供电、供水等基础设施。其间，钱学森十分重视试车台的建设，亲自审定S1A的初步设计。在S1A试车初期，他亲自到怀柔试验现场，指导S1A的试验工作。他指出，通过硝酸—苯胺试验阶段可以锻炼研制队伍，取得经验，在此基础上继续向前迈进。[2]1960年秋，第一批人员进驻试验基地工作，1961年全部人员到位。1963年底，试验基地基建工程全部竣工。因为任务急需，试验基地采取边建设、边研究的方式开展工作。在高能推进剂研制方面，1958年和1959年分别对液氟系统和硝酸—苯胺、液氧—酒精系统进行了探索研究。由于液氟系统毒性很大，而硝酸—苯胺、液氧—酒精系统的推力又不够大，他们在总结研制经验以后，决定1960年将液氢液氧系统作为新的探索方向。在火箭发动机地面试车台设计方面，他们设计了小型液体火箭发动机试车台S1(100—500公斤推力)。以硝酸—苯胺为推进剂的小型试车台S1A于1960年10月建成，并进行了首次点火试车。[3]

随着这些尖端技术项目的上马，力学所大肆招兵买马，致使机构与人员急剧膨胀。为了协调北京、上海两地的研制工作，科学院成立了办事机构134办公室，负责人为林鸿荪、林盛梓。林鸿荪还是怀柔试验基地的业务负责人。

4.2 "上天"任务的调整

1958年下半年，"大跃进"运动给国民经济造成的困难逐渐显现出来。这年底，中央决定对过高的跃进指标进行调整，希望以此解决运动中出现的乱子，但未从指导思想上改变对"大跃进"运动的认识。中央的调整，对已经上马的"上天"任务产生了直接影响。1959年1月26日，张劲夫在科学院党组会议上传达中央书记处总书记邓小平的指示："卫星还要搞，但是要推后一点，因为国家经济困难。"[4]随后，科

---

① 路甬祥：《向科学进军——一段不能忘怀的历史》，科学出版社2009年版，第102—103页。

② 何鼓生：《回顾在怀柔试验基地的十年》，http://lxyd.imech.ac.cn/info/detail.asp?infono=13797。

③ 杨丫男：《中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作(1956—1966年)》，中国科学技术大学硕士学位论文，2009年，第16页。

④ 张劲夫：《中国科学院与"两弹一星"》，载科学时报社编：《请历史记住他们——中国科学家与"两弹一星"》，暨南大学出版社1999年版，第45页。

学院立即召开会议，认真总结“大跃进”以来“上天”任务研制工作中的经验与教训，提出“大腿变小腿，卫星变探空”的调整方针，决定对“581”任务的目标和研究队伍进行调整，停止研制大型运载火箭和人造卫星，把工作重点转向研制探空火箭，着重打基础，开展高空探测活动；同时开展有关人造卫星的单项技术研究，以及测量仪器与试验设备的研制，为发展航天技术和地面测控技术做准备。科学院党组提出的具体方针是：“以探空火箭练兵，高空物理探测打基础，不断探索卫星发展方向，筹建空间环境模拟实验室。”

由于中央对跃进指标进行压缩，各地在“大跃进”运动中仓促上马的与“上天”有关的项目被迫纷纷下马。上海机电设计院也决定今后的任务由研制运载火箭改为负责探空火箭、气象火箭的设计、试制和试验。起初，他们酝酿设计比T-5更小的探空火箭T-7，推力1吨多，预计可上升到几十公里高空。1959年7月10日，钱学森根据中央部署以及火箭技术发展需要，给上海机电设计院党委书记艾丁写了一封专函，对机电设计院的发展方向提出明确建议：“把上海机电设计院改组成为一个设计和试制小型火箭的单位，推力在3吨以下、使用一般推进剂、不搞复杂的控制系统。这样现有的人力物力可以基本上胜任，不需要国家投入大量的技术力量。”[①]根据科学院确定的“探空先行”方针和钱学森的意见，机电设计院决定开展探空气象火箭T-7的研制，以硝酸—苯胺为推进剂。为了增大把握，积累经验，锻炼队伍，机电设计院决定首先设计一个缩小10倍的模型火箭T-7M，无控制系统，火箭起飞总重量190公斤，总长度5 345毫米，箭体直径250毫米，发动机选用硝酸—苯胺和糠醇混合物为推进剂，气压式输送系统，助推器推力1 780公斤，主火箭发动机推力226多公斤，预计能上升到8—10公里高空。自9月份开始，机电设计院集中力量研制T-7M。

造火箭、放卫星，是“大跃进”时代的时髦工程，全国许多单位一窝蜂地上马了大量与“上天”有关的研究项目，如国防部五院、哈军工、一机部、北京工业学院、科学院化学所和应用化学所等单位开展了火箭推进剂的研制。这样的重复建设造成了力量分散、水平低下、进展缓慢等不良后果。为了集中力量，加快我国火箭推进剂研制进度，1959年3月钱学森起草《推进剂研究中心的方案(草案)》，[②]提议整合资源，设立全国性的推进剂研究中心。

关于研究中心成立的必要性及其定位与功能，他写道：“火箭推进剂的研究任务是一项复杂的工作，除了研究单位以外还必须有化学生产部门如化工部及轻工

---

① 转引自陈良：《中科院和力学所的火箭推进和人造卫星研究》，载李家春、樊菁主编：《钱学森——在创建力学所的日子里》，科学出版社2011年版，第164—178页。

② 钱学森：《推进剂研究中心的方案(草案，1959年3月)》，上海交通大学钱学森图书馆。

业部参加，才能解决特种燃料及氧化剂的供应问题。因此，有必要由上述各部门参加组成一个推荐剂组直属科学技术委员会，作为计划安排及组织分工协作的负责单位。此外，在怀柔设推进剂研究中心，该中心是全国推进剂工作情报及资料的汇集点，负责供给火箭设计单位有关推进剂的设计资料及数据”，并开展具体的研究工作。关于研究中心的任务，他认为主要有四大方面：一、新的液体推进剂研究，包括得出试车的性能。二、新型液体火箭燃烧室设计的研究。三、新的固体推进剂研究。四、新型固体火箭设计的研究。研究中心 1959—1960 年的具体工作目标为：一、提出用红发烟硝酸为氧化剂而比冲量为 260—270 的液体推进剂。二、提出可铸的固体推进剂，比冲量在 230 以上。三、研究用液氟或过氯酰氟为氧化剂的推进剂。四、研究用硼氢化合物为固体推进剂。关于研究中心的组建，他建议由科学院参与“上天”任务的各单位抽调力量，主要是北京矿冶学校及第三设计院的力量，成立推进剂研究中心，业务归科学院化学所领导。至于研究中心的组织机构和运作方式，他建议组织全国力量参加这项工作，并且，“由科学院组织各方面成立推进剂研究委员会，每年召开会议，明确各单位任务的分工，制订年度计划。怀柔推进剂中心为其日常工作单位。”

关于怀柔基地，他分别就液体火箭、固体火箭推进剂的研制提出了具体措施。在液体推进剂方面：1959 年建成 100 公斤推力的硝酸氧化剂试车台及 100 公斤推力的液氟氧化剂试车台，争取建成 500 公斤推力的液氧氧化剂试车台。1960 年建成 3—5 吨推力的试车台。1959 年组织理论计算，得出各种可能推进剂的理论比冲量，并对可能推进剂进行小量试制，测定其物理化学性质。在固体火箭方面：1959 年建成装药量为 250 克、推力为 300 公斤的固体火箭试车台，1960 年建成 1 吨推力的试车台。1959 年对橡胶火药进行物理化学的研究，改进其物理及力学性能。另外，进行小火箭试车，开始高能固体推进剂的探索。1960 年提出合用的固体推进剂。

这个方案的初衷在于破除各单位的本位主义观念，将有限的技术力量和资源集中有效地使用，以突破推进剂的关键技术，让其他机构和人员不再重复研究，并可以无成本地共享技术成果。这个集中突破推进剂关键技术的想法既贯彻了技术科学思想，也体现了全国大协作的精神，避免了许多浪费。然而，由于种种原因，这个设想没有得到很好的贯彻和实施。

4.3 上海机电设计院的工作

探空火箭可以将科学仪器、试验部件或实验生物送到太空，获取所需数据和资料，用于研究气象等自然现象，进行航天技术探索，其技术难度大大低于用于发射

人造卫星的运载火箭。上海机电设计院的 T-7M 研制进展很快，特别是搞发动机的人员干劲十足，不仅自己设计火箭发动机热试车台架，还在江湾机场一座废旧碉堡里建成简易试车台，进行发动机热试车试验，获得成功，给全院人员以极大的激励。经过一年多的艰苦努力，1960 年 2 月 19 日，自行设计制造的 T-7M 试验性液体燃料探空火箭，在上海南汇老港镇东南 2 公里的简易发射场发射成功。这枚火箭起飞重量虽只有 190 公斤，飞行高度仅 8 公里，却是中国向空间迈进的第一步。4 月 17 日，继续发射一枚 T-7M 火箭，飞行高度 3.5 公里，第一次箭体回收成功，获得了飞行高度遥测参数。4 月 29 日又成功发射了一次，张劲夫和钱学森还来到发射场观看发射试验。5 月 28 日晚上，毛泽东主席在杨尚昆、柯庆施的陪同下，亲临上海新技术展览会尖端技术展室观看了“大跃进”运动的重大成果——T-7M 火箭实物。他仔细阅读了产品说明，并询问火箭可以飞多高，讲解员回答：能飞 8 公里。毛主席意味深长地说，8 公里那也了不起！并鼓励大家：应该 8 公里、20 公里、200 公里地搞上去。①

T-7M 火箭的成功发射，加快了 T-7 探空火箭的研制进度。由于南汇发射场过于简陋，不符合探空火箭进一步发展的需要，上海机电设计院 1961 年 3 月开始在安徽广德誓节镇建设新的探空火箭发射场，代号为 603 基地。当年 9 月 13 日，在这个新的发射场成功发射我国第一枚 T-7 液体燃料探空火箭（不带助推器），飞行高度 19 公里，揭开了我国火箭探空事业的序幕。此后，为适应高空探测技术发展的需要，上海机电设计院又研制出改进型气象探空火箭 T-7A。T-7 系列探空火箭的研制和成功发射，为科学院生物物理所贝时璋领导的中国首批生物试验火箭的发射准备了条件，推动了中国生物探空和宇宙生物学研究的开展。1964 年 7 月 19 日，在 603 基地成功发射并顺利回收我国第一枚 T-7A(S1)生物火箭，火箭飞行高度达到 70 公里。1966 年 7 月 15 日和 7 月 18 日，又成功发射了两枚 T-7A(S2)生物火箭，搭载的是比较接近人类的实验动物小狗，生物舱回收成功，获得的试验数据和资料对于发展载人航天具有重要的参考价值。

上海机电设计院转向探空、气象火箭研制后，经过 7 年的不懈努力，实现了集中力量研制探空火箭的目标，开展了相应的高空科学探测实验，为人造卫星上天做了一些技术储备。在探空火箭研制过程中，原力学所的研究人员作出了很大贡献。如程世祜 1958 年 11 月随第一设计院迁往上海，任上海机电设计院火箭总体设计部结构室主任。他抓紧时间培训技术干部，为年轻技术人员讲授飞行器结构力学、

① 《当代中国的航天事业》编辑委员会：《当代中国的航天事业》，中国社会科学院出版社 1986 年版，第 88—89 页。

屈曲理论，带领大家开展各种基础实验。这一年，他主持设计并加工出第一批壳体模型，进行了一系列静力实验，求得符合当时加工条件的计算圆柱壳体“下临界应力”系数，为以后的火箭结构计算打下了基础。①

1960 年 7 月，上海机电设计院脱离力学所，与上海新技术室合并，统一归口科学院新技术局领导。1962 年国防部五院又与科学院商定，为了解决国防部门的需要，上海机电设计院自 1963 年 1 月 1 日起划归国防部五院，改称 508 所，脱离科学院建制，成为五院研制探空火箭以及航天技术的专业机构。此后，科学院结束了型号性质的火箭研制工作。1965 年 7 月，上海机电设计院的主要力量迁回北京，改为七机部第八设计院。1968 年中国空间技术研究院成立以后，又成为该院的重要力量。不过，上海在研制探空火箭过程中，聚集和培养了一支研究设计力量，为后来成立上海航天研究基地奠定了重要的基础。

上海机电设计院存在的时间虽然不长，但在探空火箭、发射架、发射测控等方面做了大量工作，培养和锻炼了技术队伍，积累了总体设计、组织计划、试验分析、调度指挥等方面的宝贵经验，为“651”卫星工程上马做了较好的技术积累。

4.4 力学所二部的工作

1959 年下半年，根据中央“自力更生为主，力争外援为辅”的方针，科学院提出《1960—1967 年中国科学院发展探空技术和喷气技术规划》，认为应在不重复国防部门工作的情况下，开展火箭技术方面的基本理论和探索性研究。据此，科学院再度对“581”任务的目标和研究队伍进行调整，让“大跃进”运动高潮阶段从各地蜂拥而至参加“上天”任务的“志愿兵”陆续返回原单位。

1959 年 11 月，力学所成立二部，其任务是配合有关单位对火箭技术和星际航行进行力学方面的探索性研究。在组织机构上，二部的研究系统包括十一室、十二室、十三室，分别由原来的第一设计院风洞部、一室以及北京矿冶学校组建而成(原试验基地的科研人员全部归入十三室)，从事高速气动力学、高温结构强度、液体推进剂及燃烧问题的研究。另外，还有机械厂以及作为技术系统的八室和九室，分别从事试验设备设计和测量仪表装置研制。力学所原来的二、三、四室和运筹学室，合称为力学所一部，工作方向保持不变。

十一室下设三个研究组：一组负责超声速风洞(F2、F3)的建设与试验，二组负责激波管和激波风洞的设计与试验，三组负责空气动力学理论的研究。

---

① 唱秀华、柯受全、石光漪：《程世祜》，载中国科学技术协会编：《中国科学技术专家传略》(工程技术编，力学卷 1)，中国科学技术出版社 1993 年版，第 387—396 页。

在超声速风洞建设方面，1959 年 9 月超声速风洞(F2)在力学所试车成功，并初步建成了一些有关火箭技术问题的力学研究设施。F2 是我国自行设计建造的第一座超声速风洞，十一室不仅建造了洞体，还建设了三个直径 10 米的贮气球体及压缩空气供应站等附属设施。当时，国内没有同类设备，许多单位希望力学所能早日承接外单位委托的试验任务。参加建设的人员，夜以继日，艰苦奋斗，付出了辛勤的劳动，更希望 F2 能够早日投入使用。郭永怀尽管没有直接参与风洞建设，但凭借经验和直觉，对 F2 风洞采取了保留态度。他认为，参加设计的人员没有经验，时间又很仓促，承接加工的单位既无经验，设备也相对简陋，因而对风洞的质量心存怀疑。事实证明，他的担心并非多余，原设计中进气道短，拉瓦尔管也存在一定的问题。特别是加工粗糙，形成很多反射激波，试验段的流场十分不均匀。经过一段时间的调试，最后不得不对部分部件重新进行设计和加工，直到 1962 年下半年基本问题解决以后，才开始接受外界的委托测试任务。在调试过程中，郭永怀对风洞的各个方面，从流场的均匀、稳定、测试手段(如纹影仪、热线风速仪、三分力天平等)的掌握都亲自过问。他经常告诫参研人员：不要急躁，不要急功近利，并说我们的实验数据直接影响国防产品的质量，任何时候都不应疏忽大意。①即使在“大跃进”环境下，郭永怀在科研成果评价上始终坚持高标准、严要求，反对浮夸。

激波管是郭永怀力主发展的重要试验设备，1958 年国庆节前夕激波管组完成了一座试验段直径为 800 毫米的直通型激波风洞(JF4)的设计，并分送上海和太原加工。为支援超声速风洞建设，1958 年 12 月激波管组全组人员调到 140 部(力学所承担国防尖端技术任务的气动力研究实验部)，从事超声速风洞测量仪器的配置与研制。1959 年 12 月，俞鸿儒等人员抽回，继续进行激波管研制工作。在郭永怀、林同骥指导下，经过全组研究人员的共同努力，JF4 风洞于 1962 年建成。在这段时间里，他们完成的主要工作有：创立了一种比较平稳的端面多火花点火氢氧燃烧驱动方法，研制成功我国第一台同步闪光纹影仪、激波测速传感器和薄膜电阻温度计，完成了高超声速流球头传热率测量等工作。②

十二室下设三个研究组：一是高温塑性组，研究飞行器重入大气层后，动力机械零件在高温下的强度、短期蠕变、蠕变屈曲、振动屈曲等问题；二是热应力组，研究飞行器初入大气层时急剧加热所引起的结构上的稳定问题；三是颤振组，研究飞行器在大气层的颤震问题。由于“大跃进”运动的冲击以及“瞎指挥”，十二室研究工作

---

① 李毓昌：《高瞻远瞩，教泽长存——我对郭永怀先生学术思想的领会》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009 年，第65—72 页。

② 俞鸿儒：《脉冲风洞及其他设计决策》，载科学时报社编：《请历史记住他们——中国科学家与“两弹一星”》，暨南大学出版社 1999 年版，第 189—194 页。

举步维艰。

1959年春，程世祜回到力学所，重新组织力量，把已被撤散的热应力实验室恢复起来，进行内压壳的研究实验。他在内压壳、高温弹性模量测定、高温应变测定方面采取轮班深入的办法，分别进行指导，从理论和实验两方面开展研究。程世祜注意到内压圆柱壳可能提高壳体屈曲临界载荷，产生了用内压充气代替复杂加筋结构的设想，达到了使飞行器重量轻、强度高的目的。1960年6、7月间，他向国防部门送交研究报告《内压圆柱壳稳定问题》。1961年8月，又写出论文“关于‘弹性圆柱薄壳的一般稳定性’问题”，在《力学学报》上发表。在随后的几年里，程世祜在圆柱薄壳的稳定性方面完成了三项课题：一、受轴向压力及内压力联合作用下圆柱壳的稳定问题；二、纯弯曲与内压力联合作用下圆柱壳的稳定问题；三、扭转与内压力联合作用下圆柱壳的稳定问题。这些研究工作为我国火箭结构计算打下了基础，受到国防部门的充分肯定：“这一研究工作对实际设计有指导意义，在学科理论上也提出了新的看法和方向，研究报告采取了老老实实，做多少说多少的态度，对前人的工作有分析有批判，是一个质量较好的研究成果。”①

1959年，高温塑性组李敏华接受对新研制的复合材料试件进行驻点温度超过1 000度的高温实验任务。通过调研，李敏华决定采用火箭发动机加热。但由于时间紧，不可能研制常规火箭发动机。她提出用炽体引燃的方法，大大缩短了设计和加工周期。在不到半年的时间里，她与其他研究人员在国内首次实现了驻点温度超过1 000度的高温实验，国防部五院极为重视，专门组织参观并进行仿制。据参与这项工作的田千里回忆：“卫星回地时运载火箭头部重返大气层会遇到高温高速气流冲刷，需要研制耐烧蚀材料和燃烧实验装置。1959年在李敏华先生领导下，我和一批大学生和复员军人接受了建立一个燃烧实验室的任务。对燃烧我本是一无所知，但李先生的工作热情坚定了我的信心。她爱人吴仲华先生在上海为我们加工了一个喷气发动机燃烧室，我们就在力学所小食堂旧址热火朝天地干了起来。李先生一直是亲临前线，有时和我们一起加班到深夜，还把家中的铝合金窗帘导轨杆拿来供我们安装测温支架，在她的带领下终于完成了任务。科学院副院长裴丽生同志亲自带了化学所研制的抗烧蚀材料来做实验，钱学森所长带了力学所中层干部来参观”。②随后，李敏华又加入到研制瞬时加热加载材料试验机的研究组。她提出应变测量方法，并与组内研究人员一起调研几种加热方法后确定研究方

① 唱秀华、柯受全、石光漪：《程世祜》，载中国科学技术协会编：《中国科学技术专家传略》（工程技术编，力学卷1），中国科学技术出版社1993年版，第387—396页。

② 田千里：《向李敏华先生学习》，载李和娣主编：《固体力学进展及应用——庆贺李敏华院士90华诞文集》，科学出版社2007年版，第357页。

案,得到试件试验段瞬时的均匀温度,在国内首次成功研制出瞬时加热加载材料试验机。①

以北京矿冶学校为基础组建的十三室,从事探索和开发用于远程火箭的高能液体推进剂以及火箭发动机的地面试车。1960年10月,十三室人员迁至怀柔基地。11月,林鸿荪被任命为十三室副主任。在钱学森直接领导下,林鸿荪具体组织火箭发动机试车技术、液氢液氧火箭发动机的预研以及对发动机中的燃烧问题、传热问题进行理论与实验研究。1960年,科学院物理所在液氢低温技术探索方面取得重要突破,建成了每小时可以生产5立升的液氢设备,为我国开展液氢液氧发动机的实质性研究准备了条件。在这种情况下,1960年10月科学院在调整重大科研任务计划时给力学所下达了5至15吨推力液氢液氧火箭发动机的设计与试制任务。作为力学所当时最为重要的科研项目,这项任务由十三室承担。从这以后直至1961年5月,十三室对高能液体推进剂的性能开展了探索和研究。钱学森对十三室的研究工作定期听取汇报,及时给予指导,使得工作进展很快。在短短半年多的时间里,就完成了氢氧发动机总体性能的初步研究以及燃烧室的强度、稳定性计算,壁面换热计算,液氢、液氧涡轮泵的计算与设计等,为液氢液氧发动机的进一步研制奠定了初步基础。②

可以看出,力学所二部的技术人员白手起家,仅用两年多时间就初步建立了完整配套的火箭研究、设计与试验设施,为我国火箭与导弹事业的发展做了设备、技术和人才上的准备。

4.5 服务工农业生产

"大跃进"运动全面发动以后,力学所许多研究人员深入农村、工厂,用自己掌握的科学知识解决工农业生产中的问题。力学所一部,包括原来的二室、三室、四室和运筹学室,前三个室的工作方向分别为入地、下海、服务工农业。1958—1960年间,各室研究人员挖空心思,开展了许多结合工农业生产的研究课题,其中以火箭钻、深耕犁、低水头发电、单叶片风力发电、激波法合成氨、百万千瓦水轮机以及运筹学应用到工业管理等课题为重点项目。

二室下设四个研究组,即火钻组、爆炸技术组、石油开采多相渗流组和地下煤气化组。火钻组取得了比较出色的研究成果。火钻是一种快速钻岩工具,可用于

---

① 毛天祥:《李敏华院士传略》,载李和娣主编:《固体力学进展及应用——庆贺李敏华院士90华诞文集》,科学出版社2007年版,第3页。

② 何鼓生:《钱学森创建怀柔试验基地的回顾》,载李家春、樊菁主编:《钱学森——在创建力学所的日子里》,科学出版社2011年版,第179—189页。

采矿、采石、开挖等工程，其原理是通过煤油和氧气的燃烧形成高温气体从喷嘴射出，高温射流在岩石表面形成一个既有高温又有大的温度梯度的温度场，巨大的热应力使坚硬的岩石表面剥离，以此达到钻孔的目的。这个设想是钱学森提出来的，初步试验也是成功的。1958—1960 年，火钻组解决了点火燃烧问题，提出了强化钻孔效率的主要参数和技术措施。对石英岩钻孔最大深度达 3.6 米，最大速度达 8—9 米/小时，在花岗岩和流纹岩上的钻孔速度超过 10 米/小时。其间，为了简化设备，有的研究人员提出以空气代替氧气作为氧化剂进行燃烧和钻孔的想法。但是，由于空气中有大量氮气存在，降低了射流温度，无法建立大梯度的温度场，降低了岩石破碎的效率，多次试验均以失败告终。这项工作要不要继续进行下去，一时成为争论的焦点。力学所有些领导干部，因受“大跃进”思维的影响，片面强调主观能动性的作用，置基本的科学原理于不顾，对研究人员横加指责，批评他们不解放思想，有畏难情绪，等等。迫于政治压力，那些明白失败原因的研究人员又心存顾虑，不愿坦陈自己的观点。在这个问题上，钱学森与郭永怀态度鲜明地主张下马，认为理论分析和实验结果都表明，以空气取代氧气是不可行的，不应继续做下去。郭永怀认为，这个结论本身也是研究成果，还反问道：热力学第二定律证明第二类永动机是行不通的，难道说热力学第二定律不是伟大的科学成果吗？[①]在当时形势下，郭永怀仍能坚持科学家的道德和良知，保持独立的人格，不随大流，确属难能可贵！该项目于 1961 年收尾，研究成果后来应用于国防工程建设。

三室下设水翼船组和潜水货轮组。该室开展了水翼船的水动力学以及回转性能、稳定性能计算等研究。并且，完成了水洞(代号 309)的水动力学试验设备的设计，对混流式水轮机桨叶的水动力学与气蚀问题进行了研究，建立了水轮机空气试验台。

四室负责与国民经济有关的力学工作。实际上，所有无法参与前几个室研究工作的人员均被安排到四室，该室拥有 40 多名研究人员。除四室以外，其他室的研究内容对外都是保密的，所以只有四室对工农业生产中的力学需求较为公开。1958—1960 年，四室先后开展了大型水轮机方案论证、闸头应力分析、升船机、低水头发电、深耕犁、风力发电、脱谷机、水坝振动、力学测量等研究工作。

为了支持农业，四室开展深耕犁研究。深耕犁既涉及犁地翻土的土力学问题，又涉及犁头的形状、材料和表面处理等问题，是一个很有实际意义的跨学科研究问题。柯受全、何作修、卢锡年和王礼立满腔热情地投入到这一课题，一方面进行文

---

① 李毓昌：《高瞻远瞩，教泽长存——我对郭永怀先生学术思想的领会》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009 年，第65—72 页。

献调研，另一方面下农村进行实地调查，试图从力学角度为粮食增产服务。我国有大量的低水头水力资源，如何使之充分利用？特别是如何推广到广大农村地区？也是一个很有实际意义的问题。根据这个国情，钱学森提出低水头发电课题。为此，力学所开展了低水头发电研究。一开始是专攻流体力学的研究生张厚玫研究，后来钱学森让胡海昌负责这一课题，并任组长。胡海昌与他的研究生刘世宁、张厚玫、柳春图到山东、浙江、福建等地做了1个月的调研，设法找到低水头应用的地方，回所后向钱学森汇报。胡海昌认为，这个课题不适合力学所做，并说了一些理由。由于当时强调理论联系实际，钱学森没有立即做出结论，而让他们写出一份调研报告，从力学角度对这个课题提出看法。随后，钱学森接受胡海昌的看法，终止了这个课题。[①]另外，鉴于我国风力资源非常丰富，钱学森提出从力学原理上解决使用价廉物美的单叶片风车发电的问题，为此上马了“单叶片风力发电”项目。张厚玫受命研究这一课题，不过后来在调整中下马了。

四室还成立爆炸深耕组，研究爆炸深耕在农业方面的应用。自1958年下半年开始，他们开展了大量试验工作，取得了一些成绩。为了推广这项技术，1960年1月在济南召开专题会议。与会人员一致认为，爆炸深耕“将对农业生产起重大的作用，可以使人们从繁重的体力劳动中解放出来，为农业技术革命开辟一条新的途径”。还认为，爆炸法具有不受深度、地形限制；节省劳动力；速度快；爆炸产生的高温所造成的熏土作用可以促使深层土壤的熟化，增加肥力；消除地下害虫和提高蓄水保墒能力等优点。会议指出，试验研究宜根据需要，选择在条件适合的地区边试验、边研究、边推广。[②]

合成氨生产是国家化肥生产的基础，对于农业发展至关紧要。为了满足农业大跃进对化学肥料的庞大需求，钱学森提出能否利用激波所形成的高温高压条件使按一定混合比例的氢气和氮气快速合成为氨。为此，力学所上马“激波法合成氨”项目，开展激波法固定氮、生产合成氨的工艺过程研究。俞鸿儒受命研究这一课题，他不仅在所内做实验，还专门去上海化工研究院开展合作研究。后来，这个课题也在调整中下马了。

为了配合长江三峡工程的上马，1958年科学院成立三峡科研领导小组，组长为张劲夫，钱学森是小组成员之一。其间，四室接受了一些与三峡工程有关的研究任务，如大型水轮机方案论证、三峡闸头应力分析、升船机等。针对三峡宏伟的开发前景，钱学森提出要研究大功率水轮发电机。他认为，航空工业已采用

① 柳春图：《固体力学如何为民用工业和航空、航天服务》，载李家春、樊菁主编：《钱学森——在创建力学所的日子里》，科学出版社2011年版，第138—141页。

② 中国科学院力学研究所爆炸深耕组：《爆炸在农业中的应用》，《科学通报》1960年第13期。

功率大得多的涡轮机，借鉴这方面的理论和经验，力学可以为研制大功率水轮机作出贡献。[①]当时，世界上的水轮机大概最多不超过 20 万千瓦量级。而钱学森提出，应发展百万千瓦量级的水轮机组。工业界的人士，包括水利界人士，都认为这是不可思议的。钱学森却认为有这个可能，还画图来说明。

为实施研制单机容量为百万千瓦的水轮机的设想，力学所专门在四室成立水轮机组，下设水轮机理论组和空气模型实验组。潘良儒任水轮机组组长，王礼立任副组长兼理论组组长，徐朝仪任模型实验组组长。郑哲敏领导大型水轮机的方案论证。当时，他们选择的研究对象是混流式、中等高的水头(100 米左右)、50 万千瓦的水轮机，研究重点是叶片型面设计问题。郑哲敏回忆说：“当时我们还不敢替工业部门做这个工作，我们当时水轮机组能力只有 50 万千瓦。不过，现在实现了 70 万千瓦，与钱先生 1958 年说的 100 万千瓦已没有本质差别。这可以看出钱先生有很强的预见性。”[②]当时，一般水轮机叶片的设计采用二维理论，但对百万千瓦这样大容量的水轮机来说就过于粗糙，而苏联学者提出的三维理论只能用于设计孤立流面的叶片形状。这时，原本从事高速飞行器研究的潘良儒毅然转换学术方向，投身水轮机心脏——转轮叶片三维理论的研究。他与合作者补充两个无旋分量为零的条件，得出能从一个流面的叶片形状推进到相邻流面的叶片形状的设计理论，1960 年与郑哲敏、钟万勰等合作在《力学学报》发表论文“混流式水轮机叶片的设计和计算(一)”。[③]后来，三峡工程没有按计划上马，这些研究工作亦随之中止。

运筹学研究室是力学所唯一未在“大跃进”运动中被撤销的学科建制，不过也必须联系实际、联系生产。为此，运筹学室积极推动运筹学在交通运输、物资调拨、工厂管理等工农业生产中的应用，帮助降低成本，提高产品质量。开展的研究工作主要有三项：一是棉纺织厂产品质量控制问题，帮助工厂改进棉纺产品质量；二是长江三峡水利枢纽建设规划问题，包括航道船型的选择、梯级水库的最优综合防洪发电方案等；三是综合交通运输问题，包括合理流向及交通工具的选择等。

1958 年夏，刘源张领导的质量控制小组找到北京国营第一棉纺织厂，将该厂作为试验田。他们成立棉纺织工作组，结合该厂当年的生产要求，围绕“用低级棉纺优级纱”的目标开展研究，提出配棉方案，并与该厂领导、技术人员反复讨论，方案实施后，使该厂实现了“用低级棉纺优级纱”的目标。另外，他们还寻找和进行了其他课题的研究，如织布车间的劳动生产率问题等。后来，刘源张在力学所向全所

---

① 王礼立：《回忆钱学森老所长二三事》(之五)，http://blog.sciencenet.cn/u/llwangch。

② 王卉、张巧玲、潘希：《从物理力学起落看钱学森学术思想》，《科学时报》2009 年 11 月 12 日。

③ 唐福林：《潘良儒》，载中国科学技术协会编：《中国科学技术专家传略》(工程技术编，力学卷 2)，福建教育出版社 1997 年版，第 44—51 页。

人员介绍在北京国棉一厂的研究工作，钱学森也来听讲了。1959 年 10 月 19 日，科学院编辑出版委员会给刘源张发去一封信，说："钱学森所长推荐您的'纤维性能与细纱强力的关系'值得向国外报道，希望您根据工作报告会上的内容加以充实，写成论文形式"，并要求"译成俄、英、法、德任何一国文字"，以便在《科学记录》上发表。遗憾的是，未能如钱学森所愿，刘源张没有将研究工作写出论文来。[①]不过，在这些研究工作的基础上，刘源张等人合写出《运筹学在纺织工业中的应用》[②]一书，学术界称其"开创了中国运筹学理论联系实际的先河"。1960 年冬，质量控制小组离开北京国棉一厂，来到长春一汽底盘车间，帮助工厂解决了"解放牌"卡车驾驶杆下端的涡轮蜗杆的加工质量问题。在这段时间里，运筹学研究室涌现的成果还有周华章、杨玉华、陈锡康、顾基发编著的《运筹学在建筑工业中的应用》，介绍了运筹学在建筑工业中的运输土方、分配水泥、安排开工顺序、检查青砖质量等方面的具体应用。[③]这些研究工作在生产实践中通过统计、归纳、分析、总结等方法，形成了中国运筹学早期的应用研究成果，见证了中国运筹学创建初期的发展历程。

"科学为工农业生产大跃进服务"，是党和政府对科学工作的基本要求，也是贯彻理论联系实际方针的重要途径。在这一指挥棒的指引下，力学所研究人员用实实在在的行动贯彻"理论联系实际，科学研究为生产服务"的方针，开展了许多服务国防建设和工农业生产的研究工作，取得了一些成果。但是，由于片面地强调理论联系实际，追求立竿见影的效果，一些理论学科不得不牵强附会地上马了许多没有实际意义的研究项目，最终事与愿违，无不以失败而告终或停留在纸上谈兵的状态，既造成了人财物的巨大浪费，又耽误了宝贵的时间，后果十分严重。

第五节　迷失在"献礼"运动中的力学所

在"大跃进"运动高潮阶段，科学工作者破除迷信，打掉自卑感，意气风发，发扬"敢想、敢说、敢干"的精神，以空前的热情和干劲，昼夜苦干，战天斗地。而且，大家还挖空心思，想出各种办法展示运动的成绩。由于人们习惯于将展示重要成就与重大节日或活动联系在一起，这样，在大字报、大辩论之外，献礼成为展示科学"大跃进"运动成果的重要群众运动形式，形成了"大跃进"运动高潮阶段一道独特的风景线。正如科学院副秘书长杜润生总结的那样："……最近又创造

① 刘源张：《感恩录——我的质量生涯》，科学出版社 2011 年版，第 5—7、48 页。

② 刘源张：《运筹学在纺织工业中的应用》，科学出版社 1960 年版。

③ 周华章等：《运筹学在建筑工业中的应用》，建筑工程出版社 1959 年版。

了一个易于发挥群众干劲的运动形式，就是节日献礼运动。以‘七一’献礼为开端，各所群众不约而同地自发地拟订每年搞四次献礼运动。一月一日、五月一日、七月一日、十月一日，逢节献礼。毛主席指示过一年抓四次，组织评比、竞赛、展览，抓两头带中间等工作方法。节日献礼运动，正好把这些方法联合起来加以运用了。一年搞四次检阅，形成四次高潮，十年四十次将把美国抛在后面了。”①上有所好，下必效焉。大家抢着争着去准备献礼的“礼品”，生怕落伍了。

最先举办的是1958年的“七一”建党献礼。7月1日，中共科学院机关第二次代表大会在京开幕。为了展示解放思想，破除迷信，刻苦钻研，大胆创造的跃进成果，迎接“七一”这个伟大的日子，科学院京区研究单位跃进又跃进，组织献礼运动。在献礼前的十多天里，各研究所都提出苦战十天的口号，“人人投入战斗，日夜不停，三班轮作，夜间灯火辉煌，十分热闹。所有的人，包括多病体弱的老者，平时不参与工作的家属都参加了这一运动。万众一心，群策群力，人们只记得完成任务，忘记什么是困难，有困难就开战地诸葛亮会议，通过许多次这种会议，培养了群众智慧，发现不少新的人材。这种群众场面，在科学界说来是十分稀罕的。过去，谁也没有设想过，科学研究战线，还用‘人海战术’，现在用了，也成功了。”②最后，居然取得了许多“出色”的成果。参加党代会献礼的，有43个单位的原子能、半导体、新材料、冶金新工艺、精密仪器等方面的跃进成果，总计972项，据称有102项“达到”或“超过”国际先进水平。力学所有多项成果参加这次献礼，如激波管组大胆独创、提前设计完成我国第一个激波管，“用以研究新方法固定氮等用的化学激波管，也在‘七一’前试制成功。弹性力学组研究三峡水坝三维弹性应力分析的青年和老科学家一起，提出利用近代计算技术解决三峡水坝弹性应力分析的初步方案。原定今年国庆节前完成的超音速风洞的设计，也已初步完成。为了支援工农业生产大跃进，原来未列入计划的高压氮肥筒的研究、经济而效率高的低水头发电设计、风车的改进、内燃水泵的改进和巨型管道流速测量的研究等工作也都得到了初步结果。运筹组的同志做出了水运的数学模型，使全国水运得到合理的安排。”为了准备献礼，“全所同志经过七天苦战，完成了研究和实验设备制造等方面的工作共28项。这些工作如以过去的速度进行，一般都要几个月甚至几年才能完成”。③在献礼大会上，俞鸿儒还代表激波管组研制人员表达决心：“奋战三昼夜，设计出激波管。”他们设计完成后，立即送北京仪器厂加工，大约10天左右即运回安装并开始破膜和激波测速实验。鉴于这是我国第一台激波管，随后又被送进中南海向党中央献礼。④

---

①② 杜润生：《以红带专是党领导科学事业的根本途径》，《科学通报》1958年第17期。

③ 《党领导科学跃进再跃进，科学工作者以跃进成果向党献礼》，《科学通报》1958年第13期。

④ 俞鸿儒：《脉冲风洞及其他设计决策》，载科学时报社编：《请历史记住他们——中国科学家与“两弹一星”》，暨南大学出版社1999年版，第189—194页。

窥一斑而知全豹，科学院对献礼的热衷和投入程度于此可见。

7月2日，科学院从所献礼品中挑选出300余项，参加京津和中央国家机关组成的代表队，敲锣打鼓送到中南海向党中央和毛主席献礼。中央书记处总书记邓小平等代表党中央和毛主席接受了献礼，他们用了三个小时的时间仔细参观礼品，并与献礼人员合影留念。[①]既然献礼活动成为得到上层肯定的展示“大跃进”运动快出成果、出好成果的好形式，又能贯彻政治挂帅的原则，让科学界欣喜若狂。于是，献礼作为一种新经验得到迅速推广和普及。一时间，献礼接连不断，捷报频传，各种“达到”或“超过”世界先进水平的“跃进成果”不断涌现，与农业生产中大放高产“卫星”和工业领域的大炼钢铁相配合，共同让“大跃进”运动高潮迭起，一浪高过一浪。

9月25日，中国科协第一次全国代表大会通过《关于开展建国十周年科学技术献礼运动的决议》，号召全国科技工作者紧密围绕工农业生产等中心任务和国防建设，在科技发明创造方面作出贡献，促进生产和科技“大跃进”。此后，献礼之风日趋白热化，大家都希望赶在国庆十周年之际展示跃进成果。

10月4日，科学院京区各单位举行有1万多人参加的国庆献礼祝捷大会，集中展示誓师大会以后四个月来的跃进成果。副秘书长裴丽生在开幕词中指出：“这次大会是在今年五月跃进大会和‘七一’献礼运动的基础上进行的，是过去十个月京区各单位研究工作的评比大会，同时又是推动争取今后更大跃进更大丰收的促进大会。”这一天恰好是苏联发射第一颗人造卫星一周年的纪念日，献礼礼品十分丰富多彩，“一共献出了2 152项科学成果，其中超过世界水平的有66项，达到世界水平的有167项。”在欢乐的锣鼓声中，各单位的献礼队带着礼单、礼品向主席团献礼。力学所送展礼品77项，重要的有超声速风洞的重要部件如调压器、风洞激波管、等离子体发生器以及化学激波管、深耕犁、离心机等。另外，还有“为农村电气化制成了低水头发电设备，在一公尺左右的水头下水轮机的转速可以高过每分钟一千转。棉纺中条干问题和全国粮食合理运输方案是年轻的运筹学在我国新开的花朵。他们对出优级纱的规律找到了答案。利用火药爆炸形成的射流钻岩石、打井，也取得了初步结果。”大会的最后，张劲夫发表讲话：“因为我们坚决贯彻党的社会主义建设总路线，所以得到了很好的成果。但是我们决不能自满，应该进一步努力，响应党的号召，提前五年完成十年科学技术远景规划”。还说，要苦战三年，首先在明年“十一”，在尖端科学、重大任务和基本理论三大方面拿出成果、技术、理论、思想四大丰收献礼。[②]

---

① 《京津青年向党中央和毛主席献礼》，《光明日报》1958年7月2日。

② 《跃进再跃进——中国科学院的国庆献礼》，《科学通报》1958年第19期。

翌日，即10月5日，“中国科学院自然科学跃进成果展览会”在京举行。展览会自6月19日开始筹备，原计划在劳动人民文化宫公开展出，后因保密关系改至科学院中关村新建实验大楼对内展出。展览会11月9日闭幕，11月15日全部结束，从筹备到结束共五个月，实际展出时间35天。参展的单位，除了华南植物所及广西分所，长春地质室及上海数学室外，包括数理化学部、生物学部、地学部、技术科学部四个学部的57个研究单位和综合考察委员会、编译出版委员会所属的12个单位。科学院高度重视这次展览会，专门成立了负责展览的工作机构——筹备委员会，下设办公室，负责具体工作。参加展览会的工作人员有321人(包括从沈阳聘请来京的负责美工设计的人员30人)，其中办公室工作人员17人，各所派来的讲解员、操作员及其他人员共284人。展览共分五个馆：第一馆是新技术及数学物理学、化学、力学、天文学部分；第二馆是技术科学部分；第三馆是综合考察及地学部分；第四馆是生物学部分；第五馆是图书、情报和编译出版部分。还有一个保密馆，专门展示机密性较强的火箭、卫星等尖端技术方面的成就。展览总共陈列展品(实物、模型、图版)3 000余件，其中主要展品有136项，“达到”或“超过”国际水平的展品有63项，另有6项系“国际首创”，“其水平目前还无法比较”。展览会的简介说，展品“绝大部分是跃进以来各展出单位向‘七一’、‘十一’的献礼。这些成果是我院科学工作人员特别是青年同志在政治挂帅，破除迷信，解放思想，树立敢想、敢说、敢做的共产主义风格，发扬共产主义大协作的精神，贯彻以任务带学科，以冲天干劲在很短的时间内取得的。”①

展览开放期间，共接待445个单位的38 392人次。各省市分院、京外所属各单位由展览会统一组织，分批来京参观。毛泽东、刘少奇、周恩来、朱德、贺龙、陈毅、邓小平、李富春、彭真、陈云等党和国家领导人先后前来参观(中央委员前来参观的有64位)。10月27日，毛泽东亲自参观展览，被媒体解读为“党对科学事业极大的鼓舞”。展览结束后，科学院认为展览会达到了向中央和各有关部门汇报工作，以及本院各单位互相评比、互相学习和交流情况等目的，是向中央汇报工作以及与其他单位交流经验的好方法之一，“今后可以举办多种多样大中小不同类型的展览会”，“每年有几次献礼，都可以举办献礼展览会”。②

继“七一”、“十一”献礼之后，经过三个月的努力跃进，科学院又取得了很多成果。为此，1959年1月3日科学院召开京区研究、教育、编译等单位1959年元旦

① 中国科学院自然科学跃进成果展览会办公室：《中国科学院自然科学跃进成果展览会简介(内部资料)》，1958年10月。

② 《中国科学院自然科学跃进成果展览会总结(草稿)》，《中国科学院年报(1958)》，1959年，第197—201页。

献礼大会，郭沫若院长在会上做了“革命热情与科学精神相结合”的讲话。参加元旦献礼的有40多个单位的3 000多个项目。其中，力学所“完成了台墩水浮力计算，这是有关不久后就要建造的长江上三座大桥桥墩地基问题的理论研究；还完成了刘家峡大坝抗地震问题的研究，对刘家峡主坝标准段在地震作用下的振动和应力提出了研究报告”。同时，“配合三峡工程的设计，完成了一系列的理论工作，包括三峡百万千瓦水轮机转轮的流体力学设计、三峡船闸闸头应力分析、三峡单一水库调度线的制作”等。①

由于献礼活动得到上下一致的认可，为献礼做准备遂成为科研机构主要的日常工作。科学院甚至每一、两个礼拜就开一次献礼大会。②在“超英赶美”、“一天等于二十年”等席卷全国的跃进口号轮番轰炸下，各研究单位纷纷提出一浪高过一浪的跃进目标。由于批判“外行不能领导内行”的观点，从领导到群众都接受了“卑贱者最聪明，高贵者最愚蠢”的错误信条，引发出致命伤——瞎指挥。一年献礼四次，时间间隔很短，研究项目被迫一次又一次地提前进度，提高指标，研究人员一次又一次地被迫放下该做的工作，去赶制献礼的礼品。研究计划永不休止地变动，一月一小改，三月一大改，从来没有一份计划从头到尾遵照执行下去，研究目标也是朝秦暮楚。打擂台，挑应战，一个大会接着一个大会地哄抬，甚嚣尘上。各种跃进展览会一再举办，展品在展览会结束之后便烟消云散，被新的任务、新的项目所代替，不再有人问津。转瞬之间，科学院出现的现象如同一位专家所总结的：“各研究所青老上下，大破迷信教条、迷信权威思想，干劲冲天，轰轰烈烈，苦干若干昼夜；苦干巧干相结合，取得献礼几千项的成就。展览会上琳琅满目，大量解决或是提出了我国社会主义建设中极需研究的问题，誉载全所全院。许多涉及科学理论的新情况、新问题，也从此处处露出苗头，使人顿开茅塞，感到科学研究大有搞头。有的迅速建立了从来没有考虑建立的空白学科，有的给科学理论提供了新的贡献，丰富了整个科学理论财富，……短短四、五个月，胜于以往四、五年。在各个研究单位里，去年真是万象更新，好比旭日方升，把科学工作的大千世界，光辉灿烂地展现在我们眼前，就许多科学工作者来说，解脱了严重束缚，敢想敢干，得心应手，海阔天空，信心百倍”。③

各研究所出现了人人上马、老中青齐出动、猛攻任务堡垒的轰轰烈烈局面，什

① 《中国科学院各所1959年元旦献礼》，《科学通报》1959年第2期。

② 郑哲敏：《力学研究所访谈》，载胡亚东等：《中关村科学城的兴起（1953—1966）》，湖南教育出版社2009年版，第113页。

③ 《为继续贯彻科学工作中“理论联系实际”与群众运动的方针而努力——1959年4月9日数理化学部恽子强副主任在自然科学研究所所长会议上的发言》，《中国科学院院报（1959）》，1960年，第82—85页。

么“七一”献礼、“八一”献礼、“十一”献礼，接踵而至，让政治挂帅达到了登峰造极的地步。“卫星”越放越高，牛皮越吹越大，但实际上都不起促进作用，反而让人们做了许多徒劳无益的事情，浪费了大量人力、物力和时间，延迟了工作进度，几乎使科学事业濒临绝境。采取群众运动的方式，突击任务搞日夜连续作战，是当时的普遍做法，一位科学家回忆说：“那段时间，每天晚上要工作到十二时后才能回家。第二天早上六时要参加早操，干不了几天，就觉得很疲倦。我感觉到难以支持下去，不知道别人感觉怎样。有一次我偶然有事，在晚上十一时后，去找另一组的一位同事，这个组当时是大跃进中的先进组。当我推开这个组的门时，看到六七位同志都坐在椅子上，围成一圈，像是在讨论工作。但我仔细一看，每一位同志都在睡着在那里，我的推门声音也没有惊醒他们。我只好轻轻地把门关上退了出来，当时我感觉像发现了一个秘密”。[①]运动发动之初，研究人员还能废寝忘食，勉强支撑下来，但是时间一长，大家实在消受不住，但又不得不假戏真做。

1958 年 5 月发动的“大跃进”运动，大概过了“十一”，研究所、实验室的工作就先后停顿下来，因为所有的物资都消耗完了，没有补充，无以为继。到了 1959 年下半年，许多研究所基本上处于瘫痪状态。苏联援华专家克罗契科记录下了当时的见闻：“1958 年我在华期间，悲哀地亲眼目睹了实验室中工作时间的不断减少，正是因为这些会议的不断增多。我开始意识到这些会议正在给研究所带来真正的灾难。”各种报告会与讨论会“就像传染病一样扩散开来，直到 1958 年 8 月，在全中国，任何科研工作都停止了。实验室关上了大门，研究所里的学术讲座不再举行。仅仅是偶尔，而且是在夜里，还有人在搞科研。然后在某些喜庆节日，比如‘七一’党的生日，开展‘向党和毛主席献礼’的活动。但是一个人在白天已经让那些枯燥无味、没完没了的讨论会和相互批判搞得焦头烂额，就这么几个人又能搞出什么名堂来呢？不用说，那些‘献礼’对中国科学是不会作出什么实质性的贡献的，它们只具有一点象征性的意义。它们只能是漫无边际的大吹大擂，而大吹大擂正是此时中国的典型现象。比如某个研究所有个实验组，从实验废液中提炼出一克白金，他们就不无得意地宣布：‘我们生产出了我们自己的白金！’但是谁都知道，在实验室里搞出一克白金与工业生产上从天然矿石中提炼白金完全不可同日而语！”“在发扬党的精神与爱国主义的喧嚣之中，一次又一次宣告过研究工作中非同寻常的‘突破’。而在实际上，这一切纯属子虚乌有。”[②]即便如此，面对轰轰烈烈的群众运动

① 汤定元：《八十忆旧》，载韩存志主编：《资深院士回忆录》(第 3 卷)，上海科技教育出版社 2006 年版，第 255—392 页。

② [苏]米哈依尔·阿·克罗契科：《一位苏联科学家在中国》，A.麦克安德鲁英译，赵宝骅中译，湖南教育出版社 2010 年版，第 14—26 页。

和献礼，绝大部分科学家出于对祖国的热爱，安心接受并努力适应这极其荒唐的政治环境，如力学所的李敏华一方面要领导和安排塑性组的业务工作，另一方面又要和大家一道积极参加各种活动："参加劳动，参观人民公社，参加'拔白旗、插红旗'等运动，还要进行自我检查，接受批判等"。①

科学工作有其自身的发展规律，以群众运动方式搞科学工作显然与正常的科研秩序背道而驰。那么，当时为何采取群众运动形式搞科学工作呢？原因有多方面的，其中之一是当时的领导干部多为行伍出身，习惯用作战思维考虑问题，搬用战争年代大搞群众运动、开展政治斗争和军事斗争的经验来搞科学工作。如固体物理学家汤定元回忆说："当时我以为：大都是军人出身的领导，把科学研究比作打仗，打仗时选定目标高地，奋不顾身一冲而上，消灭了敌人，把胜利红旗插到高地上。科学研究的目标，也可以看成目标高地，大家努力完成这一课题，就等于占领了高地，这样的比喻未尝不可。但到后来大跃进过后，大家在一起学习，议论大跃进的得失时，一位来所见习的新所领导同志说：他当初以为科学研究同打仗一样，只要拼命一冲就可以解决问题。经过这次运动才发现科学研究要比打仗复杂得多。我听后才恍然大悟，怪不得在大跃进中会有那么多无法解释的现象。"②此为前车之覆，后车之鉴！

第六节 "大跃进"运动的反复与钱学森保护技术科学的努力

"大跃进"运动中出现的狂热、过激做法，引起了中央的察觉，中央迅速着手纠正其中的"左"倾错误。1958 年 11 月第一次郑州会议后，农业领域开始纠"左"。当年 12 月召开的八届六中全会，决定压缩 1959 年的国民经济发展指标，但全会决议仍要求在 1959 年实现比 1958 年"更大的跃进"。在没有改变"左"倾指导思想的前提下，这些技术层面的调整只会是表面文章，不会起到实质性作用。尽管如此，全会对跃进指标的些许压缩，如同从云雾里露出一缕光亮，给激进的科学工作政策提供了调整的契机。

11 月 7 日，科学院党组在总结半年多来"大跃进"的经验与教训后，向中央呈送《科学工作的大跃进需要向前推进一步》的书面汇报。在肯定"以任务带学科"方

---

① 刘汝滨：《李敏华先生的爱国情结》，载李和娣主编：《固体力学进展及应用——庆贺李敏华院士 90 华诞文集》，科学出版社 2007 年版，第 356 页。

② 汤定元：《八十忆旧》，载韩存志主编：《资深院士回忆录》(第 3 卷)，上海科技教育出版社 2006 年版，第 255—392 页。

针的同时，提出“三大抓”，以弥补“以任务带学科”提法的不足。汇报认为，科学院要在全国科学战线上起到应有的带头作用，需要进行“三大抓”：一抓尖端技术；二抓国民经济中的重大科学问题；三抓基本研究。汇报提出要重视基本科学研究，无疑是对“大跃进”以来过分突出任务、忽视基础研究等错误做法的纠正。需要注意的是，这只是对极左政策的局部调整，“大跃进”仍是科学工作的主调。1959 年 1 月 11 日，《科学通报》刊登张劲夫署名的与上述汇报标题和内容完全相同的文章，指出：“我们今后的任务，就是要巩固已经取得的成就，总结经验，把运动向前推进一步”，“争取 1959 年的科学工作有一个更大的跃进，取得更大的成就！”[①]针对此前轻视甚至取消理论科学工作的做法，文章明确指出要注意：第一，有些不是直接结合的而是间接结合实际的基本研究工作，和一些带有探索性的理论工作，用具体任务带不起来，……要重视从学科角度加以安排。第二，在具体研究任务解决之后，要真正注意到把学科带动起来，也就是要把经验及时总结，上升为理论，以便对实际起到更为广泛深刻的作用。第三，在坚持“以任务带学科”方针的同时，既要提出今天的任务，又要注意提出明天后天的任务，也就是要加强长远的理论科学工作。因此，虽然“大跃进”仍是科学工作的主调，但明确要求加强理论科学，毕竟为理论研究工作的恢复打开了一道缝隙。

6.1 为恢复理论工作而努力

经过运动的反复折腾，人们的许多梦幻破灭了。到 1959 年初春，“大跃进”运动的势头已大为减弱。4 月 7—13 日，科学院在京召开研究所所长会议，各自然科学研究所所长、分院负责人等共 300 多人出席。会议主要内容是研究科学院 1959 年的工作安排和科学研究，以期在落实的基础上，使科学工作“有一个更大、更好、更全面的跃进”。[②]

加强理论科学工作是会议的重要议题之一。杜润生副秘书长在会上做工作报告，重点针对科学院的任务安排和理论联系实际问题，强调 1959 年的任务以“三大抓”为重点。他指出，任务带学科、科学研究和国家建设密切结合，是很有成效的组织发展科学的方法，贯彻了理论联系实际这个根本方针，强化了科学工作的目的性，充分发挥出科学的社会功能，解决了一批综合性的建设任务，丰富了科学研究的内容；能够改变过去那种单纯从学科出发，题目零散，脱离本国需要等错误做法；能够用明确的目标鼓舞大家的干劲，广泛地吸引广大青年人参加

① 张劲夫：《科学工作的大跃进需要向前推进一步》，《科学通报》1959 年第 1 期。

② 郭沫若：《在落实的基础上争取科学的更大跃进——1959 年 4 月 7 日郭沫若院长在自然科学研究所所长会议上的开幕词》，《中国科学院年报（1959）》，1960 年，第 51—56 页。

工作，掀起群众运动的局面。①会议要求，在注意经济建设中重大科技问题的同时，加强科学理论研究，对一些与实际联系比较间接而又有重大意义的基础研究，仍需要结合科学家的专长予以适当安排。会议还强调要提高研究工作的质量，在落实的基础上跃进，要求科学工作者戒浮夸，防骄气，把冲天干劲和科学分析精神结合起来。②

科学院数理化学部副主任恽子强、生物学部童第周、地学部尹赞勋、技术科学部主任严济慈以及一些研究所所长在会上做了发言，既总结"大跃进"以来的伟大成绩，又对今后的工作提出改进意见。钱学森在发言中说，力学所的工作存在五个方面的问题：一、"每一个研究室的任务不但是尖端是重大，而且是科学技术的最前锋，是最新的科学技术。唯其是新，所以整个问题还没有一个全面分析，在全世界也还没有定论。应该如何进行？工作应当选择什么道路？不明白！"二、"每一个研究室的任务都是综合性的，它不但包括了力学学科的各个部门，而且也包括了设计、制造等工程技术的工作。是不是全包下来？还是分工协作？如何分？"三、"因为研究室的任务是新科学技术，研究工作往往需要大型的实验设备。而力学所又是新建的所，没有家底，建立必需的实验设备是当务之急。但是因为问题新，到底要什么样的实验设备？没有老本子可抄！"四、"研究力量比之任务是非常薄弱的。"五、"所内党的领导力量是加强的了，但是差不多全是最近才从其他方面调来的，力学专业知识几乎没有；就是如何具体领导力学研究那也是没有经验的。"摆出这五大问题之后，他说："我们的工作就显得虚的多，实的少，敢想、敢说、敢干的干劲多，而方法少。"钱学森在这里指陈出的弊端和不足深中肯綮，认为现在需要解决落实的问题，"就是如何把长远的伟大目标和近期的具体工作相结合起来，把实践和理论相结合起来，把工作和学习相结合起来。我们认为现在每一个研究室的总任务、总方向既然已经十分明确，现在就可以在一个研究室里开展一个文献总结和讨论的工作"，"围绕一个室的总任务，学习、分析、讨论已有文献是必要的，我们必须找出今后工作应当如何展开的路线。"学习总结文献的目的，"是尽可能正确地迈出开始的一步，还是边干边学的精神。""这个作法不但会使我们的研究工作有了理论基础，不盲目，而且也能解决前面所提出的五个问题"。最后，他说："提倡搞文献是把力学所工作落实的必要步骤之一。这决不是在文献中钻空子，因为我们有了解决实际任务的目的，是脚踏实地的。旧瓶子装新酒，以总结文献的形式来解决远大目

① 杜润生：《提高一步　继续跃进（关于中国科学院1959年工作（自然科学部分）安排问题）——1959年4月7日杜润生副秘书长在自然科学研究所所长会议上的工作报告》，《中国科学院年报（1959）》，1960年第57—71页。

② 《科学院组织自然科学研究所所长会议组织科学工作继续跃进》，《光明日报》1959年4月15日。

标结合近期工作的问题，这又有何不可？”①

从钱学森对力学所“病症”的诊断以及开出的“处方”不难看出，他对“大跃进”运动中从理论到工程技术一包到底等冒进做法非常不满，但又不便于明言予以直接否定，只能利用加强理论工作的契机巧妙地号召大家冷静下来，从阅读科学文献了解研究工作的背景出发，再去思考往哪儿做、如何做。言下之意，在于减少行政力量对科学工作的瞎指挥，恢复正常的科研秩序，加强理论研究工作。他的发言虽然欲说还休，略显含蓄，但确实需要极大的勇气，因为在“反右”期间把读文献、从文献中找题目当作严重脱离实际的“资产阶级学风”予以严厉批判。况且，杜润生副秘书长此时还在工作报告中特别要求要防止这种倾向：“我们主要的用力方向是引用已有的科学成就，创造性地解决本国建设中的科学技术问题”，“如果对理论性研究强调得不适当，极容易引起过去曾经出现过的严重脱离实际的偏向，单纯从文献出发，只找些小问题做，形成经院式研究；或者出不出题目，找不到方向，形成多数青年人无事可做的冷落现象”。并且，反复强调：“多抓点应用研究任务，既可以发动大家动手，使多数人从中得到锻炼，又可以对当前祖国建设直接有所贡献”。②可见，此时科学工作的主导方向仍是继续跃进，这对钱学森恢复理论研究工作的努力形成了严重掣肘，致使效果十分有限。

为了贯彻加强理论科学工作的要求，科学院各研究单位开展了一些理论研究工作，如总结农业丰产经验，从实践中去丰富、发展理论。这时，钱学森也做了大量思考。在一次中国力学学会组织的关于“以任务带学科”的座谈会上，钱学森做了发言。他说：“我们有时听到说有些理论性学科不能为任务所带动，而看来又是很重要的基础学科，因此对这些理论性学科就必须作一番安排，使它们虽不作为重点来大力推动，但也能配备到一定的力量，工作不致完全间断，要能继续生长。在将来一旦这些理论学科找到了工农业生产中的实际应用，就能‘出而问世’，能为任务所带动，到那时候这学科的发展就会进入一个新阶段，一变其‘纯’理论性的面貌，可以得到更高速的进展。”这是科学发展从理论到应用的一般规律。不过，他比较倾向于“以任务带学科”的发展模式，说：“我现在要提出来的是人的主观能动性在这一演变过程中可能有的作用：我们能不能更积极些，在当前国民经济建设和国防建设的任务里去找一下，有没有些问题是可以用所谓‘纯’理论性学科的，也就是让学科去碰一下任务，而不是等待任务来碰学科。”这样做，有两个好处：“一个好处是

---

① 钱学森：《如何迈第一步（中科院 1959 年所长会议讲话）》，中国科学院档案馆。

② 杜润生：《提高一步 继续跃进（关于中国科学院 1959 年工作（自然科学部分）安排问题）——1959 年 4 月 7 日杜润生副秘书长在自然科学研究所所长会议上的工作报告》，《中国科学院年报（1959）》，1960 年，第 57—71 页。

当前任务里的问题能够得到全部学科知识的帮助，因而能解决得更快、更好。第二个好处是学科能更早地被带动，能得到明确的方向，能更快地发展……把'纯'理论的学科从带不动转入带得动，那学科的专家们的主观能动性是能起很大的推动作用的。”

他以力学所为例，具体介绍通过任务开展带动学科发展的经验。力学所在研究百万千瓦水轮机问题时，发现要解决这一问题不是流体力学已有的理论分析方法能够解决的，必须创造新的方法。如果完成了百万千瓦水轮机的任务也就推动了流体力学这一学科的发展。为了把学科带好，力学所采取了一些具体措施。措施之一，在一定时期举行以学科为主题的学术报告会，总结通过任务所取得的一门学科中的新进展，交流经验，把在一个任务里取得的结果应用到其他任务上去。措施之二，对一些边缘性新学科如电磁流体力学、化学流体力学、物理力学等，注意加以培养。在选择任务时，有意识地安排一些特别能带动这些新学科的任务，以促进其成长。还在所里为每一个新学科指定一个专人负责，作为它的“保育员”，免得这些新学科幼苗被人忽略。

在总结力学发展历史经验的基础上，他说：“力学领域中也有个别研究课题看来需要比较长的时间才能解决，虽然在解决了这几个问题一定能把工程技术大大地推进一步，但是因为现在很难估计什么时候能实现它们在实际上的应用，就不能把这些研究订作是解决任务的题目，那太不现实了。”譬如，湍流理论、固体强度、超高压力物质（即所谓物质第五态）的性质及力学等。“这些问题也可以说是明天会有实用的学科，而不是今天就有实用的学科。在全国力学工作中，对这样的研究也应给以适当的安排。”①

总之，在赞成“以任务带学科”方针的前提下，钱学森主张在承担任务的过程中加强理论研究工作，积极发展理论；另一方面，主张从长远角度出发支持那些一时无法为任务带动的新学科的发展。从这里也可以看出，虽然上层要求加强理论工作，但还是不可能支持没有应用目标的纯理论性质的研究工作，理论研究的开展必须结合具体的任务才行。

为了在承担任务的过程中兼顾理论研究，郭永怀副所长专门就结合生产需要开展理论研究问题撰文。他说：“从长远看，任务能带动学科是肯定的。”譬如，“为了满足设计高效率较大型的水轮机，我们就不能只利用已有的流体力学设计资料，而且要深入一步，详细地研究有二次流的三元运动，如三元边界层的影响。这两个流体力学问题，也还是近几年才提出来，还没有根本解决。现在我们为任务的需

① 钱学森：《在任务带学科座谈会上的发言（1959年）》，中国科学院档案馆。

要，无疑要碰一碰这两个问题。即使一次不能从理论上彻底解决这些问题，我们也要通过实验，慢慢深入了解。这样，三元边界层的理论便能向前更进一步”。“从力学的领域来讲，生产任务不仅能带动已经与生产结合的学科，也可以带动新兴的学科。这是因为，力学的新生长点不同于数学和理论物理，它是从生产发展过程中提出来的。也许有些力学问题与当前的生产无关，但是我们可以肯定它对明天的实际会起指导作用。譬如电磁流体力学就不是谁凭空臆想出来的，而是超高速飞行客观的需要提出来的。当然，这样提出的电磁流体力学，只是这门学科的一部分，但一经提出，它便能多方面发展；掌握了基本规律，便能多方面应用。虽然我们原来只是看到，在超高速飞行器外表的气流电离结果，将产生导电气流，因而想研究它对空气动力性能的影响。这种研究的结果，决不能仅限于这个问题的研究，研究的结果也不能仅仅应用到这一个问题上，而是很自然地提出新问题和新的应用方向。”“从目前的趋势来看，电磁流体力学不仅在超高速飞行中取得应用，将来在星际航行中也将有广泛应用。它可以向两个方面发展，一方面是星际船的利用离子体气体的火箭发动机，一方面是利用磁场来控制和操纵星际船。此外，在热核反应的和平利用、天体物理、地球物理等方面，电磁流体力学也已得到应用。近几年来电磁流体力学，尤其是其中的等离子气体动力学和化学流体力学，也将遵循同一道路前进。”最后，他说：“力学研究工作应以理论联系实际、任务带学科为主，它是体现党的科学为社会主义建设服务的科学路线的有效手段。”①在这里，郭永怀从工程技术是技术科学发展的动力角度出发，论证了结合具体任务是可以带动理论研究进步的。在如何加强理论研究工作这个问题上，郭永怀与钱学森观点相同，这使钱学森不显得形单影只，孤掌难鸣。

在“大跃进”运动中，力学所以任务为中心，上马了许多型号研制项目，希望做出完整的产品来，然而因缺乏与所外机构的分工和合作，不得不把一项复杂的任务从理论到设计、制造，从头到尾一包到底，由此设立了许多工程设计、生产加工等方面的部门，致使机构规模急剧膨胀，效能又很低下。另外，研究人员虽然热情很高，干劲很大，但对究竟怎样搞，搞产品还是搞理论并不明悉。有一次青年研究人员程贯一问钱学森：“我们力学所具体要做哪些事情?”钱学森回答说：“现在这个问题清楚了，我们力学所要做的工作是解决国家各种建设工程中的力学问题。”②然而，在实际工作开展过程中，力学所仍然是既搞理论又搞产品，这就出现了一大难题，即如何处理既要开展理论研究又要进行技术设计、生产制造等工作之间的关系。

---

① 郭永怀：《在力学工作中贯彻理论联系实际的原则》，《光明日报》1959 年 8 月 6 日。

② 程贯一：《怀念钱学森老师》，载李家春、樊菁主编：《钱学森——在创建力学所的日子里》，科学出版社 2011 年版，第299—301 页。

针对这个实际中的难题，1959年春郭永怀在安排力学所年度计划时指出："理论研究和工程技术工作有区别，也应有交叉。一个研究机构不能是设计院，然而在一定范围内又要执行设计院的任务；它离不开设计院，但不能包括设计院。如果这样做，研究机构势必十分庞大；那是既没有必要，也不可能"。他认为，研究机构应"正确地执行科学为建设服务的方针，应该贯彻所与所之间的协作和研究所与设计院的并肩作战的方针。在解决一项生产任务的过程中，理论研究和工程技术工作是互相衔接的。一个时期内可能把重点放在理论研究上，另一时期重点则是设计、试制等技术工作。在进行技术工作中可能提出新问题，那么理论工作便提到日程上来。这样反复推动，以至工作完全告成。""理论工作与工程技术工作，各有不同阶段，但是它们也是互相渗透的"，所以研究机构必须与设计院紧密协作。

为此，他特别强调研究机构建立技术系统的重要性，说："为了充分发挥科学研究在生产中的作用，研究机构必须具备一支强大的科学研究的队伍，同时也要有一支强大的技术力量。技术系统的任务是配合研究作战，它要设计和制造实验设备，试制为试验用的产品或模型，以及负责解决实验的技术问题。这些工作的目的是使理论变为现实。只有在这样的基础上，才能把工作逐步移交到设计院，做到这一阶段，密切协作才能正式开始"。[①]其用意在于，力学所应该坚持技术科学研究机构的定位，密切配合国防科研部门开展探索性的理论研究，这样最能发挥自身的优势，不应大搞以具体型号产品为中心的工程设计，更不应将力学所办成设计院。

由于力学所重任务、轻理论，而自身力量又跟不上，在具体运作过程中任务执行与学科建设产生了激烈的冲突。为生产任务服务，虽然解决了一些问题，却产生了"为生产服务的工作是进展了，但是理论上却没有收获"的后果。技术科学为生产服务，并不是要求研究的每一项课题都必须直接地针对生产中的问题。力学为生产服务，首先必须解决自身发展的问题，如果离开了对力学学科自身发展的关心，它将失去为生产服务的基础和能力。基于这样的分析和判断，钱学森与郭永怀主张对力学所过分注重应用性任务，忽略理论探索工作，企图把研究、设计、试制等所有环节全都包下来的做法予以调整。这是"大跃进"运动以来力学所第一次对"任务压学科"的局面做出纠正，然而他们的良好愿望在实际工作中无法贯彻下去，何况转瞬之间政治形势风云突变，即便是这样局部的纠偏努力也不得不踩下刹车。

6.2 科学"大跃进"运动的反复

1959年盛夏，中央领导人聚集避暑胜地庐山。7月2日至8月1日，中央政治

① 郭永怀：《研究工作与工程技术工作如何衔接(1959年春)》，载郑哲敏主编：《郭永怀先生诞辰九十周年纪念文集》，气象出版社1999年版，第214页。

局召开扩大会议。紧接着，八届八中全会8月2日至16日在庐山召开。这两个会议被统称为“庐山会议”。会议议题本来是总结经验，继续纠正“左”倾错误，对“大跃进”运动降温，然而后来发生的事情完全出乎人们的意料。

原来，国务院副总理兼国防部部长彭德怀7月14日给毛泽东主席写了一封“万言书”，非常坦率地对“大跃进”运动中出现的问题和失误提出自己的看法。令人没有想到的是，直言犯忌，会议转而对彭德怀等人进行批判，认为“右倾”已成为工作中的主要危险，会议议题由纠“左”转向反“右”，集中批判彭德怀等人所谓的“右倾机会主义”错误。8月7日，中共中央发出《关于反对右倾思想的指示》，指出“右”倾已成为工作中的主要危险。8月16日，八届八中全会通过《为保卫党的路线、反对右倾机会主义而斗争》的决议，使国内政治、经济形势发生逆转。随着会议内容的传达，“反右倾”斗争逐步扩大。在鼓舞干劲、继续国民经济大跃进的口号下，新的跃进高潮和高指标、瞎指挥、浮夸风等“左”倾错误再度泛滥起来。

“大跃进”运动狂飙再起，令科学工作者不禁心虚甚至心寒，但又不得不遵照上层指示学习贯彻庐山会议精神，开展“反右倾”运动。8月29日，科学院在京举行研究人员集会，动员大家坚决响应党中央的号召，“反右倾”，鼓干劲，开展增产节约运动，继续实现“大跃进”。郭沫若院长向700多位研究人员传达最高国务会议的内容，要求和鼓励全院科学工作者学习八届八中全会公报和决议，号召大家鼓足干劲，实现科学工作继续“大跃进”。①他讲完之后，一些科学工作者代表心照不宣，纷纷登台发言，用自己的切身体会来说明“大跃进”以来的伟大成绩，并一致表示：“要用自己的全部精力和知识，以出色完成任务的实际行动来响应党的战斗号召。”②大会结束后的当天下午，科学院在京的数十个研究所举行座谈会，学习和讨论八届八中全会公报和决议，重新安排下半年工作计划和国庆节前的奋战目标。紧接着，科学院又掀起滚滚热浪，计划在国庆节之前拿出更大更多的跃进成果，以迎接建国十周年。

按照中国人的习俗，逢十往往会举行规模盛大的庆典。1959年的国庆节是新中国第十个国庆节，科学界自然不会放过这个展示“大跃进”成果的大好机会。为此，科学院所属研究单位决心用新的跃进成果向国庆十周年献礼。在这次国庆献礼过程中，科学院创造出一种新的形式，把献礼运动与学术报告会结合起来，这比单纯的献礼运动显然要高明一些，毕竟涂上了一些学术色彩。各研究单位先后举行学术报告会、工作报告会和成绩展览会，向党和国家献礼，总共提出论文和工作

---

① 《中国科学院研究人员集会——坚决实现科学工作大跃进》，《人民日报》1959年8月31日。

② 《科学界响应党的号召　力争更大跃进》，《科学通报》1959年第17期。

报告 2 000 多篇。论文或报告宣读之后，还进行了热烈的讨论，对研究成果进行群众鉴定。最后，总结报告认为，1959 年的跃进工作成绩更大更好更为全面：一是在许多问题的研究中不仅解决了实际任务，而且还做出了理论上的贡献；二是研究工作比去年做得更加细致；三是青年科学工作者在运动的锻炼中迅速成长起来。①

在这次国庆献礼运动中，力学所也举行了工作报告会，以展示“大跃进”成果。报告会结束后，钱学森对力学所的工作成绩和工作状态进行了盘点。他指出，力学所“反右倾”以来出现了许多好的现象：一是出现鼓足干劲、力争上游的现象，涌现出很多“惊人”的事例，例如：“风洞部组织了两个突击队，突击基建工程，办公室内只留一人看守，几乎全部去做，基建工作如挑水、烘干电动机、油漆等工作都是由同志们自己干的。高级研究人员林同骥先生也与大家一样坚持劳动。”“高温激波管的同志怕在实验时，声音大，影响别人工作，放在每天晚上干，一直到深夜；三室水翼组的同志虽然任务有了改变，可是他们干劲仍很大，原定三个月完成的工作，只花了一个月就把水翼理论总结了出来；火钻组的同志放弃了礼拜天，每天工作得很晚，他们有时候吃不上饭也没有怨言；运筹室棉纺组的同志，在工厂里坚持了跟班劳动，密切自己与工人的关系，解决了生产中不少问题；水轮机组在反右倾、鼓干劲之后，潘良儒先生每天晚上都来力学所，全组气象焕然一新。”二是超额完成计划。力学所“大部分工作计划，我们都可以说完成或超额完成了，或者说是基本完成”。例如：“F2 超音速风洞经过全体同志的努力，可说已经基本建成，这是一件很不简单的事。”“火钻组在‘五一’后在一个时期，有点泄气，以后经过鼓足干劲之后，建议突破三本账。现在火钻在岩石上钻孔最深可达到 2 米多，速度最快可达到 8 米/时。这也是在没有经验、缺乏资料和没有专家指点的情况下，我们青年自己做出来的，成绩可说相当大。其他如燃烧风洞、高温激波管都是看看别人的文献和期刊之介绍，不知实物是何样的，但我们也搞出来了。”“四室水轮机叶片的计算也有些创造性的东西，拿到世界上去比，可说我们的工作已达到副博士水平。另外如电磁激振器、脉冲多线应变仪，基本上试制成功（还有定量问题未得解决）、三元水翼的理论、吸收器（水洞的）都是在没有科学家的指导下搞出来的。运筹室许多工作，如棉纺、三峡库容分配，有的不但有解决问题的方案，而且提出了具体问题的解决方法，也有很高的学术内容。”全所 1959 年共提出 55 篇报告，有 16 篇在报告会上报告过。其中，约有 1/3 到 1/2 即 5—8 篇质量较好，相当于苏联候补博士水平，说明这些报告的作者已具有独立工作的能力。三是涌现出一批积极分子、先进人物。在总结的最后，钱学森继续鼓舞大家：“我们当前的情况是全国大跃进

① 《中国科学院各研究机构检阅 1959 年科学的成就》，《科学通报》1959 年第 23 期。

的形势,党已总结出了一套高速进行社会主义建设的方法,全国工农业可以跃进、大跃进,要在十年之内,在工业主要产品方面赶上或超过美国,力学必须相应的赶上去!""目前世界上的科学技术正以多么大的速度前进。如果不以那么大的速度前进,肯定我们的工作会落后的。""我们必须大干特干,这光靠力学所的队伍是不行的,必须把分院的力学所也带动起来,要努力实现我所提出的任务,是完全可能的。""这样做,会不会出乱子,我认为不必怕。所谓乱子,大不过工作中出了一些缺点,工作中遭受一些挫折。如果我们不从个人得失上考虑这些问题,为了鼓足干劲,必须继续改造自己,要坚决听党的话,政治挂帅,我们的困难是可以克服的,使力学所符合国家人民的要求,我们应该清楚地认识到我们一定行"。①这份应景式的总结讲话充斥着当时的官场话语,不能代表钱学森的真实看法,实际上他的内心备受煎熬,那些所谓的跃进成果在他的心里是苦涩不堪的。

"大跃进"运动违背了经济规律,其严重后果在1959年国庆以后日益显现出来,整个国家进入了史称"三年自然灾害"的苦难时期,使本来就比较薄弱的国民经济暴露出严重的问题,连人们的基本生活保障都出了纰漏,粮食和食品供应严重不足,老百姓的日子每况愈下,农村地区甚至出现了大面积饥荒。科学工作者的生活条件也严重恶化,加上劳动强度大,许多人因营养不良出现浮肿现象,下马风随之在科研工作中盛行起来。在这种情况下,中央要求把一切活动降低到最低水平,几乎所有的研究工作都陷入了停顿状态。②然而,"大跃进"仍为科学工作的指导方针,1959年10月29日聂荣臻副总理在全国工业、交通运输、基本建设、财贸方面社会主义建设先进集体和先进生产者代表大会上的讲话中强调:"为了适应和促进国民经济各部门今后的跃进,科学技术工作也必须在努力完成今年科学技术发展计划的基础上,乘风破浪,加速发展,争取实现以后年份首先是1960年的继续跃进"。③

虽然上层一再号召科学工作者再接再厉,继续跃进,但是挫折感和迷茫情绪在科学工作者当中日益蔓延。面对凄惨的现实,即使再猛打强心剂,也难以刺激大家早已麻木的神经。事实上,朝不保夕的科学工作者已经无心无力去继续跃进,只是硬着头皮撑着,科学"大跃进"运动实际上已经无以为继,走进了死胡同。

继1959年下半年"反右倾、鼓干劲"运动之后,全国又掀起一阵子"大跃进"

---

① 《钱学森所长在1959年10月研究工作报告会上的总结》,中国科学院档案馆。

② 汤定元:《八十忆旧》,载韩存志主编:《资深院士回忆录》(第3卷),上海科技教育出版社2006年版,第255—392页。

③ 《鼓足干劲,为科学技术的继续跃进而奋斗——1959年10月29日聂荣臻副总理在全国工业、交通运输、基本建设、财贸方面社会主义建设先进集体和先进生产者代表大会上的讲话》,《中国科学院院报(1959)》,1960年,第38—45页。

热潮，随后逐渐冷却下来。1960 年 5 月 5 日，中央又发动以实验和推广超声波技术为中心的“技术革新技术革命运动”，认为超声波是万能的，甚至将运动提升到科技工作政治路线的高度。在中央的动员和部署下，全国形成了声势浩大的全民规模的群众运动。5 月 18 日下午，张劲夫亲自坐镇中关村，动员并部署、指挥科学院（京区）“以超声波化为纲的五化、三无、一创运动”。[①]与超声波技术没有任何关联的力学所也被卷入这场技术革命运动，许多研究人员被迫放下手头的任务，去干那些明知不可为而又不得不为之的荒谬事情。

此时，程世祜负责的内压壳研究正在紧张进行之中，他突然接到上级命令，要求以壳体的超声波试验为重点。群众和室领导也要求程世祜以“超声波增加壳体强度”为课题去献礼，但他不赞成这种毫无科学道理的做法，迟迟不动。后来，他实在顶不住，只好同意先用压桿试，于是有的青年人给他贴大字报，说他“抗拒运动，不用筒子用压桿”，程世祜回应说：“我不能拿着国家的资财做游戏。”最后，他不得不用壳体做试验，结果证明超声波对壳体强度没有好处只有坏处，气流对壳体产生颤振，降低了强度。不过，歪打正着，这件事从反面启发他进一步考虑振动的影响，进而写出《载波射流对壳体稳定影响》的研究报告。[②]其时，郑哲敏也带了几十个学生，做了一个暑假的超声波研究。后来，他回忆说：“那时社会上连什么是超声波都不知道，反正把水管砸瘪通上高压气，就是超声波。说是用超声波超一超，铝材的强度就能提高。真是毁了不少东西，破坏性非常大”。“不讲科学，代价实在太高了”。[③]

虽然广大科学工作者早已筋疲力尽，不可能继续跃进，但科研机构制定跃进计划的步子并未停止，继续在纸上“大跃进”。1960 年 3 月，科学院制定《关于大力发展尖端科学研究三年规划和八年设想（草案）》，提出以原子能利用和喷气技术为重心，争取在三年之内基本实现十二年科学规划的设想。其中，结合“两弹一星”研制任务提出了六个方面的任务：探空技术和喷气技术，原子能利用，无线电电子学（包括水声）和半导体技术，计算技术，新型组件、仪表及测试设备，特种材料和特种燃料。4 月，科学院第三次学部大会（不包括哲学社会科学部）在上海召开。大会虽是在继续跃进的气氛下召开的，但在恢复基础研究方面还是具有积极的促进作用。会上，聂荣臻副总理明确提出：“基础科学的理论研究能否领先，是攀登现代科学高

---

① 薛攀皋：《1960 年的全民超声波化运动》，载《科苑前尘往事》，科学出版社 2011 年版，第 220—226 页。

② 唱秀华、柯受全、石光漪：《程世祜》，载中国科学技术协会编：《中国科学技术专家传略》（工程技术编，力学卷 1），中国科学技术出版社 1993 年版，第 387—396 页。

③ 郑哲敏：《力学研究所访谈》，载胡亚东等：《中关村科学城的兴起（1953—1966）》，湖南教育出版社 2009 年版，第 113—114 页。

峰的重要标志之一。”杜润生秘书长做了关于加强理论研究的报告，并提出由院部制定的关于加强理论研究的三年规划和八年设想的草稿交由大会讨论。草稿修改后，将由国家科委作为全国性规划发至有关单位执行。不过，由于“左”倾思想主导了这个时期的工作，总路线、“大跃进”和人民公社仍是必须高举的“三面红旗”，让重视和加强基础研究的良好愿望与各种“左”倾思想混杂在一起，不能不使加强理论科学工作的要求带有很大的局限性。①

力学所乱象横生，特别是力学理论研究工作近乎绝迹，让身处运动漩涡中心的钱学森忧心忡忡、有苦难言。面对政治的惊涛骇浪，个性本来有些张扬好强的钱学森谨言慎行，想方设法在力学所这个极为狭小的空间里保护一些长远和基本的理论研究工作。1959 年 11 月，他在报告《火箭技术及星际航行中力学问题的研究》中写道：“每一个火箭技术发展的阶段都是以密切相配合的科学研究为基础的；我们甚而至于可以说每一个新火箭的设计都提出了一连串的科学研究任务，在这些科学研究任务里，力学研究任务占了很重要的地位。……力学为火箭技术服务主要在解决三个方面的问题：超高速气动力学问题，火箭结构和发动机部件的强度问题，及发动机燃烧过程的问题，解决了这些问题，自然也会推动力学学科前进，带动超高温、超高速、超短时间的测量和试验设备的设计和制造；而且也可以把研究结果应用到其他技术上去，从而推动其他技术前进。”在这里，他强调指出火箭技术的发展与力学有着非常密切的关系。通过力学研究工作，既可以为火箭技术的突破作出贡献，也可以为力学学科的发展和火箭技术的进一步发展提供理论指引。这也是技术科学思想在火箭研制工作中的具体体现。②此外，在力学所的一次会议上，钱学森以“如何开展力学的理论研究?”为题做了专门发言。主要内容为：一、必须继续强调任务带学科，这是力学所 90%的工作。“但也不是说理论工作与任务暂时联结不上的理论就一定不搞。”“应该以 10%的力量做‘非任务性’的理论工作”。二、“任务带学科是一条方针，任务必需带动学科。我们在过去光赶任务，任务所提出的理论问题不解决，任务也不能进一步提高，成果也就停留在较低的水平”。因此，“必须强调各室注意任务中的理论问题，不能不去研究它们。”

鉴于此，钱学森决定采取特殊措施，在力学所支持一些暂时为任务带不起来的理论工作，在学术秘书办公室的直接领导下成立第四研究室，抽调李敏华担任研究室副主任。至于第四研究室的研究课题，他建议初步分为：李敏华指导的弹、塑性波研究，他自己与郭永怀指导的电磁流体力学、载波射流及漩涡管理论研究等。而

① 钱临照、谷羽：《中国科学院》(上)，当代中国出版社 1994 年版，第 94 页。

② 洪友士：《力学研究所五十年》，《力学进展》2006 年第 1 期。

且，他特别强调第四研究室的工作是力学所工作的一部分，“必需列入计划，按计划在人力、物力上保证；业务办公室不得有所歧视。”①可见，即使只是投入全所10%的力量，与此前取消理论工作的做法相比，已经有了很大的改观。这些措施表明，钱学森苦心孤诣地减少各种干扰，在理论研究枯萎的年代设法在力学所这个狭小的空间里保存和维持一点技术科学工作，为降低“左”倾思想对理论科学工作的完全控制做出了力所能及的努力，在一定程度上减少了“大跃进”运动对技术科学工作的破坏。

第七节　将工作内容集中于“三大任务”

经过“大跃进”运动的反复折腾，全国出现了全面的经济紧张，形势十分严峻。针对“大跃进”运动造成的严重困难，1960年6月14—18日中央政治局在上海举行扩大会议。毛泽东主席对运动中的严重错误已有了较为充分的认识，在会上做了“十年总结”的讲话，要求对1960年的发展指标进行调整。毛主席一言九鼎，“大跃进”运动随之偃旗息鼓。9月下旬，中央以文件形式提出“调整、巩固、充实、提高”的八字方针，决心认真调查研究，纠正实际工作中“左”的错误。11月3日，中央又发出《关于农村人民公社当前政策问题的紧急指示信》。随着中央政策风向的变化，科学界也着手总结和反思“大跃进”运动中出现的问题。

在“大跃进”运动期间，力学所将主要力量集中在卫星、火箭等尖端技术产品研制上面，其间提出的许多计划不符合实际，远远超出了力学所自身的能力。中央对“两弹”研制工作进行全面调整后，科学院要求各个单位缩短战线、集中力量攻坚。这时，力学所的研究工作何去何从成为全所上下关注的焦点。钱学森对力学所在整个国家战略计划中的定位重新做了思考，决定以此为契机对力学所在火箭等尖端技术产品研制中的分工进行重新定位，希望把力学所从任务过多的被动局面中解脱出来，将优势力量集中在为国防建设探路的关键性项目上面。就如何在1961—1963年间加速火箭技术研究，力学所领导和研究骨干连日开会“务虚”，研讨对策。在此基础上，钱学森就力学所尖端技术研制任务的安排，1960年10月6日以力学所的名义向科学院党组写信反映他的看法。在信中，他说：“根据1958年以来两年多的工作经验，我们认为科学院尖端技术方面的研究任务应该配合国防部门设计、试制的力量，先走一步，为国防部门完成关键性的部件设计，并做出样

---

① 钱学森：《如何开展力学的理论研究（时间约为1960年下半年）》，中国科学院档案馆。

品。这些关键部件的样品,一旦纳入国防部门所设计的技术装置体系中,就是科学院为国防尖端技术的贡献。”也就是,力学所应以为尖端技术产品研制探路作为主要工作方向。继而,他以此为标尺来衡量力学所的工作,发现存在两个问题。第一个问题是工程技术力量太弱,远远不能满足部件设计、部件试制、实验设备、实验测试、成品鉴定等工作的要求。并且,由此带来第二个问题,即因技术力量不行,不可能把研究工作进行到底,不敢做出部件设计并制出样品,所以就只能让研究工作停留在部分及个别问题的分析和解答上,不能总其成而出成品。换句话说,就是“研究任务的目标不够鲜明,支离破碎,缺乏战斗号召的力量”。

鉴于此,他主张除了力学所二部继续完成所承担的国防协作任务外,应集中力量解决三大任务:一是为射程 1 万公里左右的洲际弹道火箭的弹头做出防热结构设计,并制出样品;二是为发射人造地球卫星、宇宙火箭用的第二级或第三级设计并制成推力约 15 吨的液氢液氧火箭发动机;三是为导弹及宇宙航行的起飞助推器设计并制成能以六倍声速飞行的超高速冲压式发动机。这三大任务计划在 1963 年完成,提供给国防部门使用。为了完成这三大任务,他认为必须加强工程技术工作,调整研制队伍,充实技术力量,提倡全国大协作,保证在力学所二部工作的科技人员数量(包括大学以上、大学程度、中专、技术辅助人员,但不包括车间工人)1961 年初可以达到 540 人,1961 年底发展到 1 000 人以上。①

几天后,也就是在 10 月 13 日,力学所向科学院党组提交《力学研究所关于发展火箭技术工作的初步意见(草)》,计划在 1961—1963 年三年内除了二部所承担的国防协作任务外,集中力量解决液氢液氧火箭发动机、洲际弹道火箭弹头防热结构、飞行速度为六倍声速左右的冲压式发动机这三大任务。其中,以液氢液氧火箭发动机的设计制造为重点,在确保完成的前提下力争完成全部三大任务。他们认为,如果这三大任务如期完成,将标志着我国喷气技术飞跃发展到接近世界最先进的水平,并带动许多重要科学部门如超高速空气动力学、高温固体力学、燃烧理论、自动控制、测试技术等快速发展,使它们在三年内向前跃进一大步。②

以这份初步意见为基础,10 月 16 日力学所领导小组正式提出《力学研究所 1961—1963 年火箭技术发展规划的报告》③,并呈送科学院党组。这份报告的主要内容与上述信件和意见基本一致。报告重申,根据国防任务需要和可能的人力物力条件,力学所拟集中最主要的力量攻破三大任务:一是在 1963 年底以前制成推

① 《关于力学研究所尖端技术研究任务的安排问题(1960 年 10 月 6 日)》,中国科学院档案馆。

② 《力学研究所关于发展火箭技术工作的初步意见(1960 年 10 月 13 日)》,中国科学院档案馆。

③ 《力学研究所关于 1961 年—1963 年火箭技术发展规划的报告(1960 年 10 月 16 日)》,中国科学院档案馆。

力15吨左右的液氢液氧火箭发动机，交付国防部门用以发射人造地球卫星和宇宙火箭的第二级或第三级；二是制成射程10 000公里左右的洲际导弹火箭弹头防热层及其结构，以保证洲际导弹的弹头不致因穿越大气层时烧掉，从而准确地击中预计目标；三是建成飞行速度为六倍声速左右的冲压式发动机的主要试验设备，为大规模开展冲压式喷气发动机的研制和应用打下物质和技术基础，从而在1965年左右应用到国防和宇宙航行方面。报告认为，三大任务的研制进度不是齐头并进，而是根据人力物力和技术条件予以合理安排。首先，应集中最主要的力量保证完成液氢液氧火箭发动机的设计与制造；其次，保证完成弹头防热结构的设计与制造；再次，配备适当力量，完成冲压式喷气发动机主要试验设备的建设和若干材料部件、燃烧技术等的试验。

为了完成三大任务，报告提出分三个阶段进行，即1961年、1962年、1963年各为一个阶段。第一个阶段，拟集中最主要的力量，大搞基本建设，大抓试验设备。在已有设备的基础上，应加强实验，取得数据。在主攻方向上，把高能燃料火箭发动机试车和涡轮泵试验放在第一位，弹头防热结构系统放在第二位。在冲压式喷气发动机方面，着手准备技术资料，制定设计方案，建设认为已经成熟的试验设备。第二阶段，主要任务在火箭发动机试车系统方面，建设推力为15吨左右的、带有涡轮泵的液氢液氧火箭发动机试车台。建立液氢液氧的涡轮泵实验室，并扩建液氢站——每日生产1.5吨左右，利用已建成的设备，连续试验，寻找规律，取得必需的数据，在此基础上全面展开发动机的工艺设计和试制工作。在弹头防热结构方面，除了继续建设必要的试验设备外，其步骤大体与液氢液氧火箭发动机试车系统相同。在冲压式喷气发动机方面，则应大搞试验设备。第三阶段，主要任务在火箭发动机试车系统和弹头防热系统方面，全部完成成品的试制，交付有关部门使用。在冲压式喷气发动机方面，则在建成的试验设备基础上开展研究试验，准备进行发动机的设计、试制、调整试验等工作。

为了实现三大任务，特别是如期完成液氢液氧火箭发动机的研制任务，报告提出采取如下措施：一、根据集中优势兵力打歼灭战的方针，首先在力学所内调整组织，充实力量。据初步计算，完成三大任务大约需1 000名研究试验和工程技术人员，现在仅有240人左右，尚缺700余人。从这一实际情况出发，力学所拟将十五室合并到十三室，再抽调十二室一部分飞机工艺方面的人员，充实到十三室，以加强火箭发动机试车系统的力量，将十一室与十二室合并，共同承担弹头防热结构方面的研制任务。十四室不变，随冲压式喷气发动机系统在1962年迁入四川。另外，把一部一室的部分力量，作为十三室的中层和外层，担负冲压式喷气发动机方面的局部性任务。实行这样的调整之后，服务重点任务的力量得到了加强。不过，

在人力方面还远远不能适应实际需要，报告建议1961年初从中国科技大学三年级学生中抽调340人。1961年暑期，再抽调300人，原动力室的中技部可参加这项工作的约20人，抽调中国科技大学学生150人，力学所物理训练班90人。以上合计900人，连同现有的240人，共约1 140人。除此之外，还必须加强部门之间的协作，尤其是与上海机电设计院的协作。二、大抓试验设备建设。（一）建立技术系统，拟将八室、九室、工厂和器材部门等组成一个统一的技术系统。其任务是与研究试验部门紧密结合，从设计到加工试制、材料供应、测试设备、测量技术等，统一管起来，以克服各成系统、互不了解情况甚至互相推诿、抵消力量的缺点。（二）保证重点项目，缩短战线，把有限的物资、工厂加工力量首先保证S系统试验设备的需要。（三）贯彻“土洋并举”的方针。（四）边建边试或边建边生产，反对万事俱备后才能投入试验和生产的观点。（五）对现有科技人员和新调入人员，加紧培养训练，使他们在最短的时期内迅速掌握火箭基本技术。三、加强工厂设备，提高技术条件。建议力学所工厂与科学院科仪厂合并，三大任务的若干设备试制加工由合并后的工厂负责。另外，从力学所现有设备和工人中抽调出一部分，在规划中的四川基地成立一个金工车间，进行冲压式发动机和水动力学研究。四、提倡交流经验和大搞协作。搞好技术协作，除了加强共产主义思想教育外，还应采取一定的措施：（一）围绕S系统和弹头系统，与有关部门分别组织两个协作任务组织，实行集体领导，分工负责。（二）凡参加协作的单位，必须当作主要任务，并纳入本部门总体规划，按照预定计划保证完成，不应中途退伙。（三）定期举行经验交流会或互通情报的会议，把现有的成就充分利用起来，少走弯路。（四）建议科学院成立内部情报和经验交流办公室，及时集中各方面的新成就，分发有关部门参考。

这份集中力量攻克国防尖端技术的报告得到科学院的重视和支持。以这个报告为依据，1960年10月科学院向力学所下达了5至15吨推力的液氢液氧火箭发动机设计和试制任务。为了加强力学所十三室的技术力量，科学院还从动力研究室抽调出一批业务骨干加入到十三室。力学所任命靳汝泽为十三室主任兼支部书记，任命林鸿荪为主管业务的副主任，①以加强十三室的领导力量。另外，为了与液氢液氧火箭发动机研制工作配套，在国防科委等有关部门的协调和领导下，组织力量试制大型液氢生产设备，以保证发动机研制过程中所需液氢的供应。

此后，三大任务成为力学所工作的重中之重。1960年12月，力学所制定《关于液氧液氢火箭发动机和洲际导弹弹头防热等探索性任务的报告》，②强调在今后

---

① 何鼓生：《回顾在怀柔试验基地的十年》，http://lxyd.imech.ac.cn/info/detail.asp?infono=13797。

② 《力学研究所关于液氢液氧火箭发动机和洲际导弹弹头防热等探索性任务的报告(1960年12月)》，中国科学院档案馆。

三、五年内必须实现三大任务。报告认为，根据三到五年的任务和计划要求，1961年最突出、最迫切的工作是建设试验设备。计划在1961年建设的试验设备有：一、在液氢液氧火箭发动机方面。1961年把“三台”、“三厂”、“九室”建立起来，投入生产和试验。“三台”即三个型号的火箭发动机试车台，“三厂”即液氢厂、液氧厂和氧气厂，“九室”即传热、喷嘴、点火、泵水力性能、强度、轴承、涡轮工作性能、低温物理测量、阀门工作性能等九个实验室。二、在弹头防热层及其结构试验设备方面。1961年要建成“两机”、“四洞”、“两器”、“一站”。“两机”即结构拉弯联合作用试验机及振动设备；锥壳高温外层试验机，加热温度为3 000度。这两台试验机的目的，是进行导弹弹头内层金属壳体结构、强度、受力、热应力等模型试验。“四洞”即激波管风洞，气流速度为声速的10—15倍，驻点温度为5 000度左右；大型激波管，激波速度为声速的25倍，气流驻点温度为8 000度左右；射击式高超声速风洞，模型出口速度为4.5米/秒；方形激波管，激波速度为声速的5—15倍，温度为2 000—6 000度左右。这四个风洞的目的，是进行导弹弹头气动力(阻力、升力、力矩)传热的模型试验。“两器”即电弧加热器，功率为2 000千瓦，加热温度为8 000—10 000度左右；硅碳加热器，温度为1 500度。“两器”主要用来进行导弹弹头外保护层及内层耐热和强度的试验。“一站”即小氢气站，生产能力为4立方米/时，专门供应F4、F7系统试验时所需要的气源。三、在冲压式喷气发动机方面。1961年主要工作是准备技术资料，制定设计方案，利用现有设备，进行一些小型试验。

完成这些任务，报告认为最主要的和比较难以克服的困难有三个方面：一是人力不足；二是材料供应和加工无保证；三是工作还未很好地组织起来。为此，应采取下列措施：一、调整组织，调集力量，加强对三大任务的领导。比如，“关于冲压式喷气发动机的任务，现有的人力物力等条件很差，如果也列入重点任务，就会使我们的战线过长，因此，建议将此项任务，与四川分院合作，并作为四川分院的重点任务，具体由四川分院领导，我所十四室迁入四川，以便四川分院在此基础上加以调整和充实，迅速上马。”后来，这项任务只进行了一段时间，因为多种原因没有继续做下去。二、加强与国防部五院的分工合作。三大任务是又高、又大、又精、又尖的国家规模的任务，各种设备的建设和本体的加工材料供应等，如不列入国家重点项目，很难得到保证，特别是时间上没有保证。因此，应把三大任务特别是第一、二项任务作为国防部五院任务的组成部分，一切技术资料、加工订货、材料供应、进度计划等，共同协商安排。三、认真、切实地把全院有关技术力量组织起来。应进一步以任务为中心，联合有关研究单位，共同拟定计划，按照计划，分别工作的性质，由某些部门承担研究试制的任务。如低温技术方面，由物理所承担；高温材料方面，

由冶陶所、金属所承担。四、加强和充实自有加工力量。火箭技术的非标准加工工作，十分庞大，完全按照一年一度的加工订货合同是有困难的，应采取三条腿走路的方式：一是大型设备由国家有关工厂安排生产；二是一些重要部件由科学院科仪厂负责加工；三是充实基地工厂，其任务是负责试验设备的修配和某些小部件的加工。五、适当补充人员。在火箭发动机方面，1961 年要求增加 300 人左右，在弹头方面要求增加 250 人左右，共 550 人左右。其中，大学与中技程度的人员各半。在冲压式喷气发动机方面，需要的人力由四川分院负责增补充实。

从上述对力学所工作方向和任务的调整来看，钱学森希望力学所回到“配合国防部门设计、试制的力量，先走一步，为国防部门完成关键性的部件设计，并作出样品”这个定位。由此出发，他主张力学所大幅收缩研制战线，从“上天、入地、下海，服务工农业”这样全面开花的状态中解脱出来，集中优势力量，整合各种资源，主攻三大任务。不过，由于“大跃进”运动的巨大惯性，力学所仍然坚持把从理论研究到工程设计全部包下来的做法，打算继续扩大工程研制队伍，强调研究设计出尖端技术产品，而不是为型号产品研制部门突破关键技术，提供设计依据。这表明，力学所的工作方向和任务仍然没有回归正确轨道。无数事实证明，突破尖端技术是一项复杂而艰巨的系统工程，必须老老实实，从打基础做起，依靠提高科学研究和工程技术水平才能实现目标，绝不可以按照作战思维，通过短期突击一蹴而就。

第八节 本章结语

“大跃进”运动是中共发动的自上而下、史无前例的赶超运动，也是中共领导人为加速社会主义现代化建设而进行的一次探索，它反映了中共领导人和人民群众迫切要求改变国家经济文化极度落后状况的良好愿望。但是，由于缺乏建设经验，中共领导人过高地估计了主观努力的作用，采取了急于求成、违背客观规律的冒进做法，导致高指标、瞎指挥、浮夸风泛滥全国，使新中国遭受了一次重大挫折，付出了惨重代价。其间，科学工作也被卷入“大跃进”运动的漩涡，成为全国“大跃进”运动的重要组成部分。科学“大跃进”运动给科学工作造成了十分严重的后果：一、思想跃进采取政治运动的方式，严重破坏了学术民主的原则；二、提出了许多不切实际的跃进计划，严重违背了事物发展的规律，结果欲速则不达，还破坏了严谨求是的科学作风；三、以群众运动的方式搞科学，采用人海战术，表面上轰轰烈烈、热闹非凡，实则效果很差；四、整个政治空气不正常，科技人员即使对“大跃进”运动有看法，也无法通过正常的途径表达出来，因为往往把工作中的意见分歧以及能否完成

严重脱离实际的高指标当成政治路线问题，给大家造成很大的思想压力。[①]在这段风云多变、波谲云诡的时期，科学界的思想和行动几乎完全按照政治运转节奏而运行，科学工作的方向、范围和速度被政治牢牢地控制着。事实上，科学工作成为国家政治工作的一部分。既然把科学工作视作政治活动，其评价标准必定是“只算政治账，不算科学账”，所有科研机构也就必须积极贯彻上层的指示与精神。科学“大跃进”运动的严重后果表明，科学工作有其必须遵循的、不以主观意志为转移的发展规律，它需要一个逐步积累、持续不辍的努力过程，不可一蹴而就，更不可追求“大跃进”式的跨越发展。“大跃进”运动关于科学工作的指导方针及对科技人员的要求，与科学工作应持有的矜持与坚守南辕北辙，这一历史教训极其深刻痛切。今天的科技创新工作应该反思“大跃进”运动的前车之鉴，防止重蹈覆辙。

“大跃进”运动发动之初，力学所研究人员群情激奋，跃跃欲试，准备大展身手。然而，运动违背了科学规律，急躁冒进的思想占据主导地位，片面地追求高指标，盛行瞎指挥风、不切实际的浮夸风，以及定期开展带有浓厚政治色彩的献礼运动，破坏了正常的科研工作秩序，造成了严重后果。其次，放弃技术科学研究机构的定位，越俎代庖，将力学所变成了研究设计院。力学所同时上马多个项目，造成力量分散，况且有些项目起点又很高，然而由于缺乏积累，技术底子薄弱，最终都劳而无功。如盲目涉足运载火箭等许多新技术领域，调集了全所大部分力量，开展研究、设计与制造，但受到技术、人力、物质基础等方面的限制，这些工作最后都只能半途而废，严重挫伤了研究人员的积极性，也给国家造成了严重浪费。再次，由于任务过多过重，而且采取“大会战”方式搞突击，研究人员疲于奔命，虽然工作也开展得轰轰烈烈，但任务完成的质量大多不高。随着运动宣告结束，这类项目大多不了了之。例如，虽然在氢氧火箭发动机、弹头防热结构等方面做了一些探索性工作，建起了一部分试验设备，锻炼了技术人员，为后来的发展奠定了一些基础，但为此而付出的代价也确实过大，总体上得不偿失。

力学所“大跃进”运动的发生、发展、纠偏、反复等进程，与整个国家“大跃进”运动的进程基本吻合。这表明，在当时体制下，科学被牢牢捆绑在政治战车上，变成了政治的附庸物，唯政治号令马首是瞻，科学工作的成绩也套用政治标准来衡量，由政治权力裁决，这是“大跃进”运动得以在科学界发动、推行、泛滥成灾的深层次的制度根源。

---

① 中共中央党史研究室：《中国共产党历史》(第二卷，上)，中共党史出版社 2011 年版，第 502 页。

第九章　技术科学研究工作的进展与突破

——以力学研究所为中心

1961年1月14—18日，中共八届九中全会在京举行。全会决定对国民经济实行“调整、巩固、充实、提高”的方针，在农村深入贯彻“十二条”，进行“整风”、“整社”。全会对“大跃进”运动釜底抽薪，标志着党和国家的指导方针发生重大转折。会后，农业、工业等领域开始对“大跃进”以来的错误政策进行全面调整，科学与教育领域的调整亦接踵而至。7月19日，中央发出《关于自然科学工作中若干政策问题的批示》，颁布试行“科学十四条”，逐渐让科学工作重新驶上正常轨道。在1962—1965年这段政策相对宽松、风平浪静的时期，中国科技事业取得了十分可观的成就，尤其是以“两弹”为代表的国防尖端技术项目取得了历史性突破，基础科学、技术科学和工程技术领域也是捷报频传。

在这段黄金时期，在钱学森、郭永怀等的领导和组织下，力学所研究人员全力以赴、奋力开拓，在承担国家尖端技术任务的同时，积极开展学科理论建设，一方面为国防尖端技术的突破作出了重要贡献，另一方面在技术科学理论创新和发展方面取得了重要成就，赢得了很高的学术声誉和社会声望。其中，特别值得称道和总结的是，钱学森、郭永怀主动适应中国社会和科学环境，在组织力学所攻克国防关键技术难题的同时，不失时机地推进技术科学学科理论建设，为此进行了大量的探索和实践，形成了具有中国智慧的技术科学研究体制。

第一节　科学界对“大跃进”运动后果的纠正

为了贯彻八届九中全会精神，1961年1月25日科学院党组在京召开座谈会，

听取科学工作者的意见，并决定到一些研究所进行整风试点，调查研究，总结“大跃进”运动的教训。实际上，在聂荣臻的主持下，1960 年冬国家科委党组和科学院党组就已开始在一些科学家、干部和科研机构中进行调查研究，并于 1961 年 6 月提出了《关于自然科学研究机构当前工作的十四条意见（草案）》（以下简称“科学十四条”）。6 月 20 日，聂荣臻就其中若干重大政策问题专门向中央写了请示报告，连同“科学十四条”一并报送中央书记处。7 月 6 日，中央政治局开会讨论批准请示报告和“科学十四条”，还写了重要批语，决定自 7 月 19 日颁布试行。

“科学十四条”的中心内容是调整中共与知识分子的关系。“大跃进”运动以来，拔“白旗”，批“白专”道路，破“资产阶级学术权威”，在知识分子中进行了过火和错误的批判，使知识分子在思想和情感上遭到了极大的伤害。鉴于此，中央在批转“科学十四条”时特别指出：近几年来不少同志在对待知识、对待知识分子的问题上有一些片面的认识，简单粗暴的现象也有所滋长，必须引起严重的注意。各单位应对“反右”斗争以后在知识分子中进行的批判加以清理。凡是批判得对的，仍须肯定。凡是批判错了，或者有一部分错了的，都要甄别事实，分清是非，纠正错误，由党的负责干部采取适当方式向他们讲清楚，戴错帽子的要摘掉，以利于解除思想疙瘩，发扬民主，增强团结。在科学工作中贯彻“百花齐放、百家争鸣”的方针，也是文件的一项重要内容，其中指出：在自然科学学术问题上，必须鼓励各种不同学派和不同学术见解自由探讨，自由辩论，自由竞赛。[①]“科学十四条”还是中共 1949 年执政以来在科学工作政策执行方面一次经验与教训的总结。文件总结了新中国成立以来尤其是“大跃进”运动以来的经验与教训，在肯定成绩的同时特别指出其中的缺点和失误：“许多单位在执行党的方针政策当中，存在着不少缺点和问题，工作方法上缺乏调查研究，不够实事求是，有不同程度的浮夸风和瞎指挥风”，这等于否定了“大跃进”时代盛行的工作方法。“科学十四条”还提出了一系列调整关系、稳定工作秩序、调动知识分子积极性的政策，并相应地做出了具体的规定，因而被誉为“科学宪法”。

“科学十四条”的主要内容为：（一）研究机构的根本任务是提供科学成果、培养研究人才；（二）保持科研工作的相对稳定；（三）正确贯彻执行理论联系实际的原则；（四）计划的制订和检查，要从实际出发，适应科学工作的特点；（五）发扬敢想、敢说、敢干的精神，坚持工作的严肃性、严格性和严密性；（六）坚决保证科学研究工作时间；（七）建立系统的干部培养制度；（八）加强协作，发展交流；（九）勤俭办科学；（十）百花齐放，百家争鸣；（十一）团结、教育和改造知识分子；（十二）加强思想

① 中共中央党史研究室：《中国共产党历史》（第二卷，下），中共党史出版社 2011 年版，第 590—591 页。

政治工作；(十三)大兴调查研究；(十四)健全领导制度。①其中，对科学工作影响最为直接的是前三条。第一条是让研究机构回归本色。第二条要求改变“大跃进”以来在科研任务、方向、人员设备、制度等方面频繁变动的做法。其中，规定研究所要实行“五定”，即定方向、定任务、定人员、定设备、定制度。还要求保证科研人员的科研时间，“研究科技人员亲自动手进行实验，查阅文献，指导研究工作，进行学术讨论、讲课、撰写论文报告和学术出差等的时间，平均每周不得少于五个工作日。一般的政治运动、政治学习、党团工会活动、行政会议，必须改进方法，提高效率，所占时间平均每周不应超过一个工作日。业余时间，应当尽量由研究技术人员自己支配，保证必要的自修、研究和休息的时间。”第三条强调科研部门必须保证经济与国防建设急需的关键性科学技术过关，但不排斥一些探索性的项目和基础理论研究。针对任务与学科建设之间的矛盾，“科学十四条”对各类研究工作的比例关系做出了明确的规定：基础研究占 15%—20%，应用基础研究占 35%—45%，应用研究占 30%—40%，推广研究占 5%—10%。②

为了贯彻“科学十四条”，8 月 18—31 日科学院在京召开院务扩大会议，讨论制订《中国科学院自然科学研究所暂行条例》(简称“七十二条”)，9 月 15 日颁发全院各所施行。“七十二条”强调科学机构的恢复整顿，健全规章制度，消除“大跃进”运动在科学工作中造成的混乱。条例颁布后，在各研究所党委的领导和组织下，“科学十四条”得到了较好的贯彻落实，收到了十分明显的效果。党和知识分子的紧张关系得到缓解，知识分子的积极性得到调动，研究机构的正常秩序也得以迅速恢复，研究工作逐渐按照科学规律开展起来，出现了前所未有的新气象。

1962 年，中央对知识分子与科学政策又做了进一步的调整。2 月 16 日至 3 月 12 日，国家科委在广州召开全国科学技术工作会议。与此同时，文化部与中国戏剧家协会在广州举行全国话剧、戏剧、儿童剧创作座谈会。这两个会议被称为“广州会议”，目的是贯彻 1962 年 1 月 11 日至 2 月 7 日中央扩大工作会议(史称“七千人会议”)的精神，总结经验，纠正错误。3 月 2 日，周恩来在会上发表“论知识分子问题”的讲话，恢复了 1956 年中央知识分子问题会议上对知识分子阶级状况的基本估计，让知识分子重新迎来了春天。就此问题发表积极讲话的，还有陈毅副总理。会议期间，张劲夫带头对“大跃进”期间推行超声波化运动、重犯“浮夸风”、“瞎指挥”的错误进行了反思，公开检讨自己的错误并承担责任。③广州会议还讨论了

---

① 《国家科学技术委员会党组、中国科学院党组关于自然科学研究机构当前工作的十四条意见(草案(1961 年 6 月))》，载《聂荣臻科技文选》，国防工业出版社 1999 年版，第 271—290 页。

② 樊洪业：《中国科学院编年史(1949—1999)》，上海科技教育出版社 1999 年版，第 151 页。

③ 薛攀皋：《1960 年的全民超声波化运动》，载《科苑前尘往事》，科学出版社 2011 年版，第 220—226 页。

制定《1963—1972年科学技术发展远景规划》的方针与方法问题。随后，在中央科学小组的领导下，国家科委制定了我国第二个科学发展远景规划，参加规划制定的科技专家约有1万多人。1963年12月12日，中共中央、国务院正式批准了规划。这个规划的总体要求是，动员和组织全国科学技术力量，自力更生地解决我国社会主义建设中的关键科学技术问题，迅速扩大又红又专的科技队伍，在重要和急需领域掌握1960年代的科学技术，接近和赶上世界先进水平。

政治环境的开明宽松，使科学工作峰回路转。与此同时，科学院号召科学工作者一切围绕"出成果，出人才"的中心目标而努力。1957年"反右"斗争以来，科学工作者从未有过这样振奋的精神状态，大家感到"帽子脱掉了，责任加重了"，以极大的热情投身科研工作。聂荣臻回忆说："当时普遍生活困难，但大家还是干劲十足，中国科学院、国防部五院、二机部九院等许多科研单位，晚上灯火通明，图书馆通宵开放，一片热气腾腾，我国真正出现了科学的春天。至今我还认为：如果没有那几年的实干，'两弹'也就不会那么快地上天"。①由于贯彻了"科学十四条"，落实了"五定"，研究计划做了合理调整，科学工作秩序趋于稳定，科学工作者的积极性大为提高，科研计划的执行情况一年比一年好，科学事业迎来了"文革"前难得的"黄金时期"。

第二节　力学所对工作方向和任务的调整

中央决定进行调整之后，科学界迅速行动起来，着手拨乱反正，清理"大跃进"期间任务挤占学科、忽视理论研究的非正常状况。官方媒体首先刊载专文，纠正"大跃进"期间在人才培养中忽视基础科学理论和基本训练的错误倾向，以此推动科学与教育工作回归正常轨道。1961年6月10日，钱学森在《光明日报》发表文章"科学技术工作的基本训练"，②强调基础科学理论和基本训练的重要性，意在否定"大跃进"期间忽视基本训练的错误做法。6月27日，《人民日报》就此发表社论"根深才能叶茂"，强调科学工作者具备扎实的基础科学知识的重要性和必要性。社论说：1958年"大跃进"以来，许多单位创造了在实践中培养科学工作者的经验，许多新参加科学研究工作的青年，通过实践迅速提高了水平，开展了很多研究工作。这是培养科学工作者的一个重要方面，今后还要继续这样做。但是，"另一方

---

① 聂荣臻：《聂荣臻元帅回忆录》，解放军出版社2005年版，第663页。

② 钱学森：《科学技术工作的基本训练》，《光明日报》1961年6月10日。

面，还需要同时注意加强青年科学工作者的基本训练，把根基打得更扎实。根深才能叶茂，没有扎实的根基，就很难希望在科学上有很高的造诣。演员要掌握舞台基本动作，战士要有基本操练，科学研究工作也是这样，要成为一名名副其实的科学研究人员不在基本训练上下一番工夫是不行的。"社论认为，科研的基本训练主要包括三个方面：一是掌握基本的学科知识和与业务有关的必要生产知识；二是加强实验操作技术的训练；三是学好外文。为了加强青年科学干部的基本训练，社论要求研究机构应根据自己的工作情况，采取有效的措施，定出必要的制度。要求老科学家"应该根据自己切身的经验热情地帮助青年进步。青年科学干部应该尊重老科学家，虚心向他们学习，争取他们的指导；同时自己更应该自觉地发奋努力学好、练好，使自己能成为高度政治觉悟和科学水平的科学研究人员"。[①]社论重提青年科学干部向老科学家学习的优良传统，在科学工作者中引起了强烈的共鸣。这两篇社论和文章虽然只是针对人才培养的，但加强理论科学和基本训练的主张对科研机构恢复正常的工作秩序起到了积极的引导作用。

2.1　重回技术科学研究机构的定位

在"大跃进"期间，力学所承担的任务过多过大，研制战线拉得很长，而且几乎将所有的力量都放在任务上，将理论、技术与设计融为一体，希望毕其功于一役，表面上看似跨越式的"三级跳"，在实施过程中却本末倒置，只重设计，不讲理论，不仅没有带动理论发展，反而造成任务排挤学科以及学科建设与设计任务混淆不清的严重后果。结合"科学十四条"的贯彻和落实，扭转力学所大计划、大任务导致研制战线过长、力量过于分散、急需的关键技术进展缓慢的局面，成为钱学森这段时间的工作重心。力学所不是工业开发机构，应该主要研究长远的、带有普遍性的理论问题，而不是做出具体的产品，但在"大跃进"期间严重背离了这个正确定位。要让力学所回归本位，必须正本清源，让大家准确认识力学工作的本质特征、研究内容和目的。

1961 年 7 月 1 日，钱学森在北京市科协主办的近代自然科学报告会上做"近代力学的目的和内容"的专题报告，系统阐述了近代力学的任务、工作方法、研究内容、发展方向等问题。以这个报告为基础，11 月 10 日钱学森在《人民日报》发表"近代力学的内容和任务"一文。文章说，近代力学"以基础学科为基础，又与生产实践有密切关系，而介乎基础学科和工程学科之间。与基础科学（如数学、物理、化学）相比，它显得更接触到具体问题，而与工程学科相比，它又显得更具有概括性"。

---

① 《根深才能叶茂（社论）》，《人民日报》1961 年 6 月 27 日。

"它是用基础理论来解决工程和生产实践中所遇到的问题,所以它也是理论学科。……近代力学离开了理论基础,就解决不了问题,而离开了生产实践,就将失去其生命力。"在这里,他重申近代力学的技术科学性质——它是研究工程技术中的科学问题,而不是做工程设计。文中,最为重要的是关于近代力学三大任务的提法:一是为工程师、设计师服务,作他们的助手;二是从工程技术和生产实践所发生的新问题中提炼出具有一般性的课题,作为新的力学理论来研究;三是从认识自然界的规律,进一步提出新的科学创见,改进工程技术、改造生产。[①]这篇文章重提力学的技术科学属性,有助于引导力学界尽快回到正确的工作轨道上来。

12 月 4 日,钱学森又在力学所和北京市力学学会联合举办的报告会上发言。他从"力学中的基本功"、"怎样学习力学学科的基本理论"、"力学工作中三个方面的任务"、"力学研究中要经过的道路"、"将来的需要"、"学习的态度"这六个方面,谈了对力学工作的基本性质、工作任务和工作路径的看法。

关于力学工作的任务,钱学森重申力学三大任务的主张:第一,"应用力学理论解决工程技术中的问题",这是力学中最起码的工作。第二,"不是利用原有原理而是创造新理论,从若干问题中分析出概念性、典型性问题,这个问题解决了就能解决一系列问题。"第三,"掌握了客观规律后提出影响生产的新技术方向。这是力学工作的高级阶段、创造性活动,是努力的方向。"这三大任务之间的关系,是工作不断提高、逐步深入的过程,"第一个任务磨炼,第二个任务发现问题提高,第三个任务融会贯通促进。"

谈及力学研究的过程时,他反复强调"研究工作的具体过程是曲折的过程"。"首先要掌握资料(实验观察、生产实践资料),这是基础。不应有先入之见,老老实实。但应学会理解问题,不应无分析的堆砌资料。认识了问题后,提出哪怕是个初步的看法。……开始时一大堆资料,要摸索找出主要矛盾,寻出一条道路。""摸问题不是没有方向、无原则的。不要把科学方法了解为形式逻辑那样简单。原理、原则对我们有帮助,但还要根据经验加以猜想。猜不是工作的结束,只是工作的开始,然后用形式逻辑验证。猜不等于胡说,不猜就没法工作。客观不等于没有思想。这时要发挥三敢:敢想、敢说、敢做,否则原始材料还是原始材料。事物的堆砌而无分析就不是科学。有了初步见解后就可以做实验,把结果根据事实来对照。这是劳动,可能这劳动的创造性不大,但是很重要的劳动"。"推论结果可以和事实符合,也可能多数情形是不符合的,这表明原来设想不正确。反过来找原因,可能要求更多实验资料再做实验,发现假设中的毛病。困难问题这种反复回合可能很

---

① 钱学森:《近代力学的内容和任务》,《人民日报》1961 年 11 月 10 日。

多，实验、理论、实验、理论，如此不断反复，最后得到比较满意的结果。一篇论文发表的是最后的东西，所走的弯路里面没有讲到。论文结果可能占整个工作的1/10，或1/100。否则论文得长10倍或100倍。最后结果得来不易。一次搞不出来是情理之常，没有什么奇怪的。研究工作的大量劳动是花在不对的地方的。……研究成果好像是冒出水面的冰山，或塔尖。这里首先要准备付出劳动'出汗'。其次要认识没有错误就没有正确，不要固执己见。不符合实践的理论是不值得爱惜的。……对自己的东西要有严格的批评精神。工作开始时错的可能性多于对的可能性，以后两者的比例可倒过来。怕错、没有信心、不敢，是不对的，要认识研究过程的曲折性。"

讲话中，他还专门讲到学术继承与批判问题，说："敢想、敢说、敢做，解放思想，多怀疑，打破前人束缚很好。但科学技术工作不是石头缝里爆出来的。我们是继承了前人的工作。力学工作的前辈给我们创造了条件，否定前人另来一套是不可设想的。第一条首先要认真学习前人的成就，不要想这人是唯心主义科学家，信上帝就不念他的书。自然科学理论是无阶级性的，可以为资产阶级服务也可以为我们服务，否则就是精华和糟粕不分。像认为美国的学术工作不对，因而不敢用，这是错误的。但也不能认为他们的工作完全对，都拿来用。……我们要多看些东西，几个片面加起来就可能好一些。学习不能不求甚解，人云亦云，马马虎虎。不能学究式的：甲这个道理，乙这个道理，丙……但问他自己怎么想，'不知道'。求甚解就是彻底理解他人，必须用功钻进去。其目的是批判：对的承认吸收，错的抛弃。只有花工夫钻进去才能达到第二步批判地接受。……要前进就得否定前人的一些东西，但要前进必须在前人基础之上。总的精神是实事求是，自己从严"。[①]显而易见，其意为力学工作必须遵循技术科学的发展规律，循序渐进，不可一蹴而就，更不可违背规律去追求"大跃进"。

按照以上学术理路和工作思路，结合"科学十四条"的贯彻和落实，钱学森对力学所在"大跃进"时代形成的工作模式进行深入调整，逐步恢复正常的科研秩序，让研究人员回到实验室，工作重新步入正轨。

2.2　恢复以学科为主线的研究体制

除了前面已经提及的后果外，"大跃进"运动遗留的另一大严重后果，就是各地大量新建的研究机构。这些新设机构在人力、物力上都非常缺乏，尤其是研究力量

① 《1961年12月4日钱学森在力学所和北京市力学学会联合举办的报告会上的发言》，上海交通大学钱学森图书馆。

极为薄弱，有的甚至不具备开展科研的基本条件，必须予以调整和充实。广州会议后，力学所的钱学森、郭永怀、钱寿易，武汉力学所的陈宗基，哈尔滨土建所的刘恢先等全国力学界同行，经过讨论，交换意见，依据“争取在全国范围内根据国家建设及发展科学的需要，和目前已有的科学技术基础，人力，物力条件逐步形成一批有明确分工、有自己特色的研究机构作为发展科学事业的基地”的原则，就全国力学研究机构的分工与布局问题向科学院提出调整意见。

他们认为，从我国科学发展的远景看，今后力学工作主要包括以下方面的问题：一、火箭技术及星际航行中的力学问题；二、原子能技术中的力学问题；三、爆破理论、岩石土壤力学和地下水动力学方面的力学问题；四、动力机械方面的力学问题；五、石油开采有关的力学问题；六、高速的水面及水下航行中的力学问题。除此以外，还有一些新的学科分支，也应组织一定的力量加以发展。在上述问题中，高速的水面及水下航行的力学问题，由海军方面的研究机构承担比较合适，可不列入全国力学研究机构的发展方向。

依据这样的情况，他们建议对全国力学研究机构作如下分工：(一)科学院力学研究所主要从事与火箭技术及星际航行有关的力学问题的研究，包括超高速空气动力学、高温结构以及与火箭发动机设计有关的工程热物理——燃烧、传热等问题，还应组织力量从事力学中的新分支如物理力学、电磁流体力学的研究。(二)哈尔滨力学研究所主要从事与原子能技术有关的力学问题的研究，包括防原子爆炸的结构及反应堆结构等问题，建筑物及其他大型结构抗震仍就作为该所另一个发展方向。(三)成立工程地质力学研究所(或土岩力学及工程地质研究所，名称尚待确定)，解决土壤、岩石及地下水方面重大的力学问题，并着重进行这三方面的基本性质及基本理论的研究。(四)四川力学研究所，着重发展与动力机械有关的力学问题，如水轮机、燃气轮机设计中遇到的叶栅理论(包括计算及实验两方面)、传热、燃烧等问题，定向爆破也可作为该所另一个发展方向。(五)兰州地质所渗流组，应逐步发展成为研究与石油开采有关的多相流渗流理论研究基地。为了迅速形成上述研究基地，他们建议进行如下调整：(一)将武汉力学所、科学院力学所二室、哈尔滨力学所有关土岩力学部分及地质研究所(北京)有关工程地质部分集中起来，建立新的工程地质力学研究所。(二)科学院力学所及哈尔滨力学所除了调出部分外，其他组织形式维持原状。①

在这之前及随后的一段时间里，科学院根据这份建议方案，对本系统的力学研究机构做了一些调整。如 1958 年 10 月成立的科学院武汉力学研究所，原来从事船舶推进内燃水泵及深耕犁的研究，1959 年发展为五个研究室、两个组、一个综合

① 《关于力学研究机构分工与布局的初步意见(时间大约为 1962 年上半年)》，中国科学院档案馆。

加工厂，还计划从事空气动力学研究。1961年底，科学院决定将武汉力学研究所110人、武汉机械所44人、广州力学研究所筹备人员39人，合并建立中南力学研究所。在学科方向上，放弃空气动力学，转为以岩土力学为主、水动力学为辅。1962年12月，根据所承担的研究内容，该所改名为武汉岩石力学研究所。[①]

除了对科学院系统的力学研究机构提出调整建议外，钱学森还与力学所其他学术和行政领导人根据技术科学发展规律和任务分工的变化，对力学所的组织体制进行了大幅调整。调整的指导思想是收缩战线，集中力量，撤销"大跃进"时期按照任务设立的四个研究室，恢复之前的学科建制，重新成立以分支学科命名的研究室。

1960年，力学所将抗震方面的工作交给科学院土木建筑研究所，终止了这方面的研究工作。这一年，力学所成立了几个新的研究室：十一室，从事高速空气动力学研究，林同骥负责；十二室，从事高温结构力学研究，李敏华负责；十三室从事液氢液氧火箭发动机研究，林鸿荪负责；新四室从事物理力学研究，钱学森负责；六室从事等离子动力学研究，潘良儒负责；原四室撤销，并入二室。1961年10月，力学所运筹学研究室划出，归属数学研究所建制，与该所运筹学研究室合并，许国志任研究室副主任。"文革"结束后，数学所一分为三，以运筹学研究室为基础成立了系统科学研究所。

由于力学所急需壮大火箭发动机方面的研制力量，1960年10月科学院将动力室并入力学所，该室1956年由吴仲华等人创办。这样，力学所除了新增与航空有关的研究室外，还有许多人员参加"上天"任务。在此基础上，力学所成立了一室、三室和五室，仍以工程热物理为研究方向。同时，原力学所三室撤销。

广州会议后，力学所又对学术组织进行了局部调整。1962年1月和5月，将水轮机组和309水洞组的部分人员（各6人）及设备分别移交给四川分院力学所和国防部七院二所（今中船重工702所），终止了水动力学方面的研究工作。1964年7月，力学所二室土力学组分离出来单独成立七室，四室的电磁流体力学组和物理力学组分离出来分别成立六室和四室。这年7月，怀柔基地改称为力学所分部，承担科学院下达的液氢液氧火箭发动机研制任务，下设十三、十四和十五室，分别从事试车台及燃烧室、低温技术及燃料贮箱和高压容器的研制。[②]

关于人员的调整，钱学森也做过通盘考虑。1963年4月27日，他致信副所长杨刚毅并力学所领导小组，就建立力学所的技术系统、加强科学组织管理工作提出建议。[③]当时，全所分为15个研究室，在编的研究及技术人员596人，工厂120人，

---

① http://www.whrsm.cas.cn/jggk/lsyg/.

② 王扬宗、曹效业：《中国科学院院属单位简史》（第一卷，上册），科学出版社2010年版，第159页。

③ 钱学森：《关于建立我所的技术系统及加强科学组织管理工作的几点意见（1963年4月27日）》，中国科学院档案馆。

行政及党委 174 人。钱学森主张后两者保持暂且不动，把 596 名研究及技术人员组织起来。

首先，他把研究室的研究人员（不包括九室，那是技术系统中的一个单位）作为研究第一线，按如下比例调整：科学组织管理中的科技人员为研究第一线人员数量的 30%，而技术系统中的科技人员为研究第一线人员数量的 25%。这样一分，研究第一线的人员应是 385 人，科学组织管理的科技人员应是 115 人，技术系统中的科技人员应是 96 人。其次，对研究第一线的 385 人再做调整。他认为，研究室范围太大，一个高研作主任，照顾不过来。可以考虑分成 15 个室或独立组，平均约 25 人一个单位，内容单纯一些，以学科划分为主。这样，可以设立以下学科组：(一)发动机气动力学及热物理（吴文）；(二)活塞发动机（纪家驹）；(三)空气喷气发动机燃烧问题（吴承康）；(四)传热学（葛绍岩）；(五)土力学（钱寿易）；(六)爆破力学（郑哲敏）；(七)空气动力学（钱福兴）；(八)气动力学（林同骥）；(九)常温结构力学（程世祜）；(十)高温结构力学（黄茂光、胡海昌）；(十一)塑性力学及疲劳（李敏华、张强星）；(十二)火箭发动机燃烧问题（林鸿荪）；(十三)电磁流体力学（潘良儒）；(十四)超高速附面层（卞荫贵）；(十五)物理力学。再次，他认为科学组织管理方面的 115 名科技人员可以做这样的调配：每个研究室或独立组配备 1 至 3 名学术秘书，共 35 人；业务室 30 人；器材处 40 人；政策、调查研究、学报学会 10 人；共 115 人。他指出："这个方面的部门要切实做好研究计划的制订及检查，组织所内所外的协作，建立研究报告的档案、业务考绩档案、器材供应、仓库管理、工厂管理、外协加工、设备维修等方面的工作，要做到基本上不侵占研究第一线人员的时间而完成上列组织管理中的任务。研究室和独立组的学术秘书在研究室和独立组工作，他们是所内各行政管理部门和党委到研究室和独立组的联系人。"政策、调查研究、学报学会的 10 人，可以放在所长办公室，他们的工作与所长秘书比较接近，是所长在行政上的直接业务助手。技术系统方面的 96 名科技人员主要在九室（即测量技术室）。他建议，工厂应配备技术员及工程师，他们不但做工厂的技术管理工作，而且对所内的一切加工图纸进行工艺性审查，力求做到保证图纸质量。设备设计工作仍然放在各研究室和独立组，不集中到所。他还提出，实验室属于各研究室和独立组（九室的实验室归九室自己管），所不直接管实验室。如一个研究课题要用另一个研究室或独立组的实验室，由业务处安排，承担任务的实验室不得推辞。另外，他主张力学所组织机构基本不变，加一个器材处。还责成九室筹办电子计算单位，1967 年建成力学所计算技术室。

这些建议和设想体现出"科学研究工作是一件复杂的工作，要各方面的配合"的科研组织管理思想，整个力学所应建立研究系统、技术系统（测量技术、实验技

术、设备设计及制造等)、科研管理系统和行政系统。后来,这些加强研究及技术系统的建议,虽未全部得到贯彻和落实,不过其中的一些思想还是以不同形式在力学所体现出来了。到1963年,力学所的研究工作大体上分为三大块:一是为国民经济建设服务的民用动力、土力学、爆炸力学、振动及疲劳等研究方向;二是为国防建设服务的动力、弹性力学、塑性力学、气动力学、物理力学等研究方向;三是为发展学科理论的电磁流体力学等。①此外,在科研工作秩序上,也从根本上扭转了"大跃进"时代"瞎指挥"、大搞群众运动的做法和风气。当时,钱学森说过一句很有名的话,意思是"联系实际不是说你们每个人都去联系,是我去联系"。1963年,在欢迎大学毕业生进入力学所工作时,他也说过一段话,意思是:"我们这里不是群众运动,得听头儿的"。②

总之,在"出成果、出人才"方针的指引下,经过多次调整,力学所恢复并建立起既研究国民经济和国防建设中的关键技术问题,又注意发展新兴学科的学术组织体系和工作秩序,重新驶入理性的发展轨道。这就是,根据研究方向接受任务,在学科深入的情况下指导任务完成,并积累知识、经验和数据,反哺学科建设。

第三节　"五大协作任务"——为导弹、火箭等航天技术探路

认真总结"大跃进"的教训之后,钱学森和郭永怀认为力学所的研究工作一定要有前瞻性,应找准自己的定位。具体说来,就是要密切注视科学技术未来发展的方向,从中找出必须解决的同时又与力学所密切相关的问题作为自己的研究课题,为将来的型号项目研制工作做好理论和技术上的储备,这样可以加速研制工作进程,使国家有限的资源得到最合理的配置,钱学森形象地称之为接力。③依据这样的定位,他们对力学所的工作方向和任务进行了重新规划,即密切配合国防尖端技术研制部门,解决他们提出的研究课题,积极开展喷气技术和星际航行技术中有关力学问题的研究;同时进行近代力学(特别是新兴学科领域)的基本理论研究。作为力学所研究工作的主要负责人,郭永怀在实际工作中切实贯彻这一指导方针,而且态度十分坚决。

---

① 钱学森:《1963年9月30日欢迎新参加力学所工作的大学毕业生座谈会上的发言提纲》,上海交通大学钱学森图书馆。

② 崔季平:《钱学森物理力学思想回顾》,载李家春、樊菁主编:《钱学森——在创建力学所的日子里》,科学出版社2011年版,第119—123页。

③ 李毓昌:《高瞻远瞩,教泽长存——我对郭永怀先生学术思想的领会》,载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》,中国科学院力学研究所,2009年,第65—72页。

新中国建立之初，科学院意识到科学为国防建设服务的重要性和必要性，为此加强了与国防科研部门的合作，甚至直接参与许多国防科研项目。至1960年，科学院承担国防尖端技术任务的研究所达到24个，约有17 000人。为适应国防尖端技术项目管理的需要，1960年7月2日国家科委批准科学院成立新技术局，负责管理全院有关国防方面的尖端技术研究工作。为了进一步发挥科学院的作用，经科学院和国防科委共同讨论，并经聂荣臻副总理批准，将新技术局列入“04单位”。列入“04单位”的研究所实行科学院与国防科委双重领导，即研究所建制、编制、行政与政治领导仍属于科学院，有关国防科研任务和发展规划，由双方统一安排，共同商定。力学所是列入“04单位”的研究机构之一。为加强国防科委与科学院之间的大力协同、分工合作，1961年5月聂荣臻说：“五院、二机部、中国科学院，三家要扭成一股绳，共同完成国防尖端任务”。[①]郭沫若也嘱咐科学院：“本位主义不可有，本位责任感不可无。”[②]钱学森深刻领悟这些讲话当中的含义，在部署和安排工作时处处从全局出发，团结和组织力学所全所力量来解决国防科研项目中的重大科学技术问题。

为发挥力学所的优势与潜力，主动为导弹研制请缨探路，1961年5月18日钱学森主持召开国防部五院与科学院力学所协作会议(518会议)，为双方确定了五大协作任务，即：一、液氢液氧火箭发动机的燃烧、传热理论与实验研究(101任务)，为未来的高性能火箭研制提供基本经验与数据。由钱学森、林鸿荪负责。二、飞行器再入大气层的气动与传热研究(102任务)，为弹头气动和加热环境、气动响应、烧蚀防热理论与实验方法提供计算和实验手段。由林同骥负责。三、轻结构强度和稳定性研究(103任务)，为飞行器的薄壁、轻型、处于恶劣工作环境下的低安全系数设计提供可靠的理论和实验数据。由李敏华、程世祜负责。四、高超声速冲压发动机(104任务)，即飞行马赫数6以上的冲压喷气发动机的关键理论问题。由吴仲华负责。五、金属薄板典型零件爆炸成形的基本理论研究(105任务)，为航天用薄壁轻型结构提供新的高效加工方法。由郑哲敏负责。这次会议的直接结果，是让力学所的工作重心重新回到探索性的理论工作上，侧重基础性和提前性的工作。由五院承担型号产品研制任务，并解决直接与火箭、导弹有关的技术发展问题。如1965年2月27日钱学森与力学所社教大队谈话时，说：“一九六一年上半年，我们是抓实的。当时提法是：十一、十二室搞中程、远程弹道式导弹结构设计的整套资料；十三室搞高能火箭发动机。八字方针提出后，国家投资有困难，院里也

---

① 樊洪业：《中国科学院编年史(1949—1999)》，上海科技教育出版社1999年版，第127页。

② 路甬祥：《向科学进军——一段不能忘怀的历史》，科学出版社2009年版，第88页。

讲，以后不做产品了，而是作研究，和五院配合。这样就改变了工作：十一室和五院空气动力学研究所结合起来，十二室和结构力学研究所结合起来，十三室和液体发动机研究所结合起来。我们承担理论性研究课题，五院搞实的。”①

为何选定这五大协作任务？这是因为，他们考虑到液氢液氧燃料组合具有高比冲和燃料本身又是冷却剂的优点，是未来火箭燃料的最佳选择。而烧蚀问题是飞行器再入大气层防护时必须考虑的，也是为我国中远程导弹研制而开展的探索性研究。如此等等。这五大任务属于走在工程设计之前的探索性研究工作，可以为我国中远程导弹、火箭研制提供设计数据和方法。力学所选定这些课题，充分体现出工作的前瞻性、探索性和关键性，从而可以为型号研制部门提供发展方向和技术指引。

在聂荣臻提出的大力协同、分工协作精神的指导下，1961 年 7 月 24 日国防科委向科学院、二机部、五院发函，指出：为更好地在国防尖端部门贯彻中央关于“调整、巩固、充实、提高”和“缩短战线，集中力量打歼灭战”的方针，国防科委决定成立科学院与二机部、科学院与五院两个协作小组，以加强对协作的领导，协调两个单位之间的合作关系，充分发挥科学院有关研究所的作用，更密切地为“两弹”服务，真正做到科学院、二机部、五院三家扭成一股绳。据此，科学院与国防部五院成立协作小组，由王诤（五院副院长）、钱学森（五院副院长）、张劲夫、裴丽生、刘西尧（国防科委副主任）组成。科学院与二机部的协作小组由刘杰（二机部部长）、钱三强（二机部副部长）、张劲夫、裴丽生、刘西尧组成。②9 月 29 日，钱学森根据国防部五院一科学院五人协作小组会议的安排，给国防科委副主任刘西尧呈报《对近几年中导弹火箭工作的意见（草稿）》，提出今后几年内导弹及其配套设施的重点研制工作以及五院与科学院分工协作的原则，即五院负责研制导弹和火箭，科学院负责探空技术及星际航行的理论探索，③进一步明确了力学所负责导弹、火箭研制中的理论性研究工作的定位。随后，力学所进一步调整工作计划，确定以五大协作任务为工作重点，同时加强力学学科理论建设，兼顾国民经济中的重大问题。

为攻克五大协作任务中的理论问题，力学所采取与五院专业研究所对口合作的方式，经过充分商谈，确定了 101、102 和 103 任务的对口合作单位，并组织五个研究室承担相关的研究工作。1961 年至 1963 年，力学所主要围绕这五大协作任务开展工作。

---

① 《钱学森同志对力学所方向任务的看法（1965 年 3 月 13 日）》，中国科学院档案馆。
② 樊洪业：《中国科学院编年史（1949—1999）》，上海科技教育出版社 1999 年版，第 127—128 页。
③ 钱学森办公室：《钱学森年表》，未刊稿，第 19—20 页。

3.1 液氢液氧火箭发动机燃烧、传热理论与实验研究(101任务)

氢氧发动机采用高性能的液氢液氧作推进剂，和普通发动机一样，它由涡轮泵将推进剂增压到设计值后，送入燃烧室燃烧，产生高压高温燃气流，通过喷管转换成推力，推动火箭加速飞行。氢氧发动机作为航天动力，有着独特的优点：能量高，比冲值可达420秒以上，有利于大幅度提高有效载荷；无毒无污染，来源丰富。在化学推进剂中，氢氧燃料组合的比冲最高，它不仅是火箭发动机先进程度的标志，还决定着火箭的起飞质量。1960年代初，世界上只有美国刚刚研制成功。当时，美苏正展开载人登月竞赛，美国非常重视大推力氢氧发动机的研制，"土星—5号"载人登月运载火箭，除了一级由五台大推力液氧煤油发动机组成的助推器外，二级和三级火箭采用大推力氢氧发动机，因此起飞重量只有2 950吨，结构简单可靠，性能先进，成功实现了6次载人登月。而苏联虽有技术先进的液氧煤油发动机，但推力较小，单机推力只有150吨。由于没有重视大推力氢氧发动机的研制，苏联只能采用"科学—1号"运载火箭。助推器由32台单机液氧煤油发动机捆绑而成，起飞重量高达3 800吨，不仅性能不先进，而且结构复杂、可靠性低，两次发射均以失败而告终。所以，航天技术发达国家都追求采用先进的氢氧发动机作运载火箭的动力。但是，使用液氢液氧作推进剂必须解决一系列超低温技术问题，如液氢的低温材料密封，液氢工业生产、贮存、运输，低温火箭贮箱绝热，液氢的加注、增压、排放及安全操作等。①

当初，国家决定导弹研制以国防部五院为主。不过，钱学森认为导弹、火箭的燃料很重要，提出一定要搞新型高能燃料。科学院应把科研重点放在开发高能燃料上，这样火箭才能做得大、射得远。张劲夫采纳了钱学森的意见，向国家建议科学院采取"两条腿"走路的方式：一方面科学院参与五院的研制工作；另一方面，科学院也开展导弹技术研制。当然，科学院主要搞探路工作，先走一步，为五院发展导弹、火箭技术提供理论和实验数据。这个建议得到聂荣臻的同意。于是，国家决定研制导弹也采取"两条腿"走路的方式：一个是作为主管部门的国防部五院，专门研制导弹，国家给予大力支持；另一个是科学院，主要搞探索性工作，并建设试验基地。②其间，张劲夫和钱学森商定，让力学所承担一些探索性研究任务，取得成果以后提供给五院。这样，研制高能燃料便成为力学所的重要任务之一。在钱学森的直接领导下，林鸿荪自1958年开始负责这项工作，1959年在怀柔建设高能燃料和

① 朱森元：《氢氧火箭发动机在中国如何走向工程应用》，《兵器知识》2010年第1期。

② 路甬祥：《向科学进军——一段不能忘怀的历史》，科学出版社2009年版，第101页。

火箭发动机试验基地，到 1961 年已初步具备接受“液氢液氧发动机的燃烧及传热问题”委托研究的基本条件。

根据国防部五院 1961 年 8 月 17 日保密室发字 1043 号文件，101 任务由力学所十三室和五院一分院六所共同承担，双方分工如下：十三室在 1961—1963 年间进行液氢液氧发动机燃烧问题和传热问题的研究，所得成果交给五院六所使用，后者进行发动机的具体设计。双方还商定，在 1963 年 6 月前十三室向五院六所提出关于液氢液氧发动机燃烧室和冷却夹设计所需要的可靠实验数据和计算公式，五院六所给予技术上的协助。①可以看出，力学所把此前已经开展的液氢液氧发动机设计与试制任务改成了液氢液氧发动机燃烧与传热问题的理论与试验研究，放弃了原光研制具体产品的打算。

随后，双方派员成立了液氢液氧发动机燃烧及传热研究专业小组，领导研制工作的推进，还定期召开会议，讨论具体计划，检查和总结工作，组织技术讨论和学术交流，鉴定研究成果等。专业小组由力学所十三室靳汝泽、林鸿荪，五院六所所长梁守槃、六所三室李毅组成，靳汝泽任组长，梁守槃任副组长。为适应任务需要，力学所十三室内部的组织机构也做了相应调整。全室按任务分为一、二、三、四、五、六、八、十八个组，还有加工车间、小氢站等。1962 年 7 月，考虑到怀柔试验基地的建设进度，经 101 任务专题小组研究决定，任务协作进度推迟一年至一年半。

研究氢氧发动机需要解决的问题主要有两大方面：一个是燃烧问题。承担这个问题研究的人员分为理论组和实验组。理论组包括四、五、六组，四组负责研究发动机燃烧理论，由陈显余任组长；五组前期主要从事总体性能分析研究，后来重点进行振荡燃烧理论研究，由潘沛霖任组长；六组研究喷注器，由成器任组长。实验组包括一、三、十组。一组负责发动机试验，组长为张福祥，第二年陈良调来，不久张福祥调离力学所，由陈良接任组长；三组负责燃烧室性能研究，由何鼓生任组长；十组是测控组，负责发动机试验时所有参数测量和控制，组长为康一清。另一个是传热问题，也分为理论组和实验组。八组为理论组，负责液氢液氧的传热理论研究，组长为龚堡；二组为实验组，负责低温传热试验室的建设和试验，组长为杨叔楹。这支研究队伍很精干，虽然当时的生活与工作条件都比较艰苦，但大家的精神状态都很饱满，人员又十分团结，室领导以身作则，与大家同甘共苦。钱学森对十三室的工作也十分重视，每周都要到力学所，听取十三室一个组的汇报，各组在研究工作中遇到疑难问题他都能指出解决的方向，讨论问题非常深入细致。汇报后，

---

① 杨丫男：《中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作（1956—1966 年）》，中国科学技术大学硕士学位论文，2009 年，第 22 页。

由业务秘书李汝庆整理出来发送到各单位，并存档。这对培养业务骨干，提高全室业务水平起到了重要作用。①

在林鸿荪的主持下，从1961年下半年到1963年底的两年多时间里，十三室研究人员刻苦钻研，努力探索，开展了大量的理论研究与试验工作。在实验室建设和实验技术掌握方面，先后建成了硝酸—苯胺火箭燃烧室试车台、气氢—液氧火箭燃烧室试车台、液氢—液氧火箭燃烧室试车台和传热实验室，并进行了大量的试验，取得了很有价值的实验数据。在燃烧方面，1961—1962年底燃烧实验组在S_{1A}试车台上进行了180余次硝酸—苯胺燃烧室性能试验，改进了操作方法和测量技术，取得了一系列燃烧室性能数据，对低频燃烧振荡有了较为清楚的认识，为下一步进行燃烧振荡试验提供了物质条件和经验，其研究报告还在全国专题会议上发表。1963年，他们将工作重点转向气氢液氧发动机燃烧室的试验研究。以气氢—液氧为推进剂的试车台S_{1D}系统1962年第二季度开始筹建，1963年初建成。由于已有S_{1A}试验的经验和技术积累，S_{1D}试验工作进行得比较顺利，1963年12月17日S_{1D}试车台首次试车成功。1964年，在S_{1D}试车台上进行了100多次试验，取得了大量有价值的气氢液氧燃烧室性能数据，基本上解决了点火启动、喷注器型式、燃烧室压力调节、混合比控制、液氧与气氢的流量控制、推力测试等一系列技术问题。1965年，怀柔基地承担新的任务以后，仍有部分研究人员继续在S_{1D}上进行试验，其中最长的一次正常运行时间达400多秒。在传热问题方面，针对氢氧发动机的特点和当时的研究条件，传热实验组决定研究液氢在超临界压力下对流换热的规律，为此利用已有的电加热设备建立了液氧在超临界压力下传热试验系统（Q_{1B}）。②

总体而言，十三室在氢氧火箭发动机燃烧、传热的研究方面取得了很大进展，主要成果有：（一）完成了15吨与100吨推力的液氢液氧火箭发动机总体性能研究；（二）对液氢液氧火箭发动机燃烧室的燃烧机理进行了深入研究，提出多种燃烧模型并进行了大量计算与分析，为燃烧室设计提供了依据；（三）在S_{1D}试车台上顺利进行了100多次试验，获得了一批气氢液氧燃烧室性能试验数据，与理论计算结果基本吻合，为液氢液氧火箭发动机燃烧室设计提供了依据；（四）研究了氢氧发动机喷注器的结构参数对燃烧效率的影响，论证了环式喷注器雾化效率为优的结论，并在近百次气氢液氧火箭发动机的试验中得到证实；（五）对液氢液氧火箭发动机中的燃烧振荡问题从理论上进行了研究，提出了解决不稳定燃烧问题的途径；

① 何敦生：《回顾在怀柔试验基地的十年》，http://lxyd.imech.ac.cn/info/detail.asp?infono=13797。

② 杨丫男：《中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作（1956—1966年）》，中国科学技术大学硕士学位论文，2009年，第22—23页。

（六）进行了液氢、液氧在超临界压力下湍流换热规律的理论研究，提出了半经验的传热计算方法，再经一定的实验验证后，可以提供给设计部门使用；（七）开展了液氢液氧发动机传热问题的试验研究，建立了液氧在超临界压力下传热实验系统（Q_{1B}），设计了涡轮泵式大型液氧在超临界压力下传热实验系统（Q_{2B}）；（八）进行了液氢低温技术的研究，建立了液氢、液氧的低温流量、温度等参数的测量与标定，设计与研制出液氢低温控制阀门、输送管道以及低温贮运设备等；（九）搜集并计算补齐气氢、液氢、液氧及其燃烧产物的热物理与热化学的全套数据与图表，供氢氧发动机理论研究之用；（十）完成了小型氢气站的基本建设，1963 年底投入生产。①

需要指出的是，林鸿荪在组织这些研究工作过程中对燃烧问题特别重视，将它与发展化学流体力学的工作联系起来。他认为，燃烧理论是化学流体力学领域一个非常重要的研究方向。在肩负繁重的研究任务与组织管理工作的同时，林鸿荪抓紧一切可以利用的时间，按照“以任务带学科”的指导思想对化学流体力学理论进行刻苦钻研，力争在理论上有所突破。经过几年实际研究任务的探索与实践，林鸿荪在火箭发动机燃烧理论研究上取得了重要进展。1964 年 3 月，他在大连由国防科委主持召开的“火箭发动机燃烧与烧蚀专题学术讨论会”上做了学术报告，比较系统地阐述了关于燃烧理论的基本思路。在怀柔基地的几年中，林鸿荪持续不断地推进这项研究，完成了一本名为《燃烧理论》的书稿，科学出版社向他约稿，并签订了出版协议。林鸿荪当年的助手陈良说，燃烧理论、化学流体力学的难度不亚于力学中的湍流理论。可惜的是，这本书稿未及出版，在“文革”中丢失了。②这本书稿是在林鸿荪为中国科技大学工程热物理专业学生讲授化学流体力学课程的授课讲义基础上，几经补充、改写而成的，材料十分丰富，是他的学术代表作。

3.2 中程导弹弹头烧蚀防热研究(102 任务)

高超声速飞行器在大气层中飞行时，会遇到显著的气动加热，表面温度急剧上升，必须采取适当的措施对飞行器进行热防护，以保证其飞行安全。对飞行器气动加热规律与热防护技术的研究，逐渐发展成为空气动力学领域的一个分支学科——气动热力学。烧蚀防热是迄今应用最广、最有效的飞行器热防护方法。在研制弹道导弹弹头过程中，必须通过地面模拟实验和理论分析计算，确定弹头防热

① 何鼓生：《钱学森创建怀柔试验基地回顾》，载李家春、樊菁主编：《钱学森——在创建力学所的日子里》，科学出版社 2011 年版，第 179—189 页。

② 李佩：《不应被历史遗忘的人们——记力学所怀柔火箭实验基地的建设》，http://lxyd.imech.ac.cn/info/detail.asp?infono=13798。

材料和结构设计，这是事关导弹研制成败的一项关键技术。102 任务就是研究与弹头再入大气层有关的空气动力学问题，并研究相应的防热措施。当时，国内在这方面的研究基本上处于空白状态。

102 任务由力学所十一室和五院 744 部队（即后来的 701 所）联合承担。十一室经过连续多次调整，1961 年下半年成立了六个组：一组是超声速风洞（F2）组，邬传保任组长；二组是激波管和激波风洞组，俞鸿儒任组长；三组是烧蚀实验组，吴承康任组长；四组是气动力理论研究组，十一室主任林同骥兼任组长；五组是气动热和烧蚀防热理论研究组，卞荫贵任组长；六组是湍流边界层传热研究组，由郭永怀直接指导。其中，二至六组承担 102 任务，五院 744 部队派研究人员分别到各个组进行协作，共同攻关。

弹头烧蚀防热研究包括理论分析计算和模拟实验研究两大方面。理论分析计算主要由卞荫贵领导的气动热理论研究组负责，模拟实验研究主要由吴承康领导的电弧加热器组负责。

根据任务和学科发展需要，卞荫贵组织理论研究组进行烧蚀防热理论的研究。1961—1962 年，理论研究组以基本训练为主，通过“调研—组内报告—讨论”的方式，提高研究人员的理论水平。在此基础上，他们开展了高温边界层、高温气体输运性质、高速气流传质和传热、烧蚀机理等课题的研究。研究成果主要以研究报告的形式提交，如《高超声速钝头锥扰流近似解》、《表面有液态层存在的模型烧蚀参数计算》、《玻璃酚醛塑料的热解机理》、《有质量引射时化学反应对热交换率的影响》、《高温空气近似状态方程及应用》等。这一系列的研究成果，一方面直接服务于五院，为他们的型号设计提供了理论依据，另一方面建立了我国高速气流传热学及烧蚀理论研究的学术阵地。

力学所安排吴承康负责弹头烧蚀防热实验的研究任务。1960 年 10 月，钱学森将吴承康叫到办公室，对他说：“弹头防热实验任务希望你来做，五院那边有设备，具体怎么做，要与郭永怀副所长商量。”随后，郭永怀与吴承康谈了具体要求，吴承康便调入承担这项任务的十一室。当时，国内对于究竟如何进行实际的烧蚀实验还不清楚，更没有实验技术方案。一般认为，应在风洞中产生高温的高超声速气流，从而在模型上产生与实际情况相同的流动。原来五院 744 部队的设想，是在苏联专家帮助建设的高超声速电弧加热风洞里面摆一个模型来做烧蚀实验。但是，这样做烧不动防热材料。在高超声速风洞中，空气被电弧加热，成为一个高温高压的气源。气流经过一个喷管，就达到马赫数 4 至 6 这样的高超声速气流，但这时气流变得很稀薄，压力也变得很低。另外，在气流中摆一个防热材料模型，模型前面会产生一个激波。由于总压损失，激波后面的总压是很低的，而且马赫数越高，总

压损失越大。在一个高超声速风洞里面摆一个模型，其头部气压还低于大气压。这样稀薄又低压的气流很难烧得动防热材料。因此，用这样的方法做烧蚀实验达不到模拟实验的目的。

针对这种情况，吴承康在深入分析高超声速风洞实验方案与相关文献后，认为由于高超声速风洞的正激波总压损失很大，模型驻点处压力和径向速度梯度很小，不能在模型表面产生足够的热流。对于驻点的材料烧蚀问题，只要紧邻固体表面的气流能模拟实际飞行中激波后的高温亚声速气流，就能考验材料的防热特性。于是，他提出采用电弧等离子体亚声速射流对飞行器驻点的受热情况进行模拟实验，而不是模拟整个高超声速流场。而且，他认为，在各种方法中，用电弧加热器加热空气，把材料直接摆在那里烧的方法比较合适。模拟实验研究的目的，是使所选择的材料在高温高压高热流的气流作用下不被烧坏，这跟模型前面的气流如何过来没有关系，只要把最后烧到弹头上的高温高压高热流的气流在实验室里模拟出来就可以了。这样，不必模拟整个高超声速流场就可以考验材料抗烧蚀的性能，没必要采用高超声速风洞做实验。只需要采用电弧加热器加热空气，材料直接摆在那里烧就可以了。1962 年，他提出亚声速射流驻点烧蚀模拟实验技术方案，即以电弧加热亚声速射流平头试件为试验形式，配以各项气流参数与烧蚀参数的测量，来取得“有效烧蚀热”的数据。①

按照这个思路，模拟实验组决定使用原动力室的两台直流发电机做成一个电弧加热设备。最关键的是做出一个功率很大的电弧加热器，能够加热空气，并能稳定地提供好几千度的高温气流做烧蚀实验。因为真实导弹在飞行中的热流，1 平方厘米的面积上达到几千瓦。真实导弹飞行的时候，气流温度也常常达到五六千度。所以，必须使用大功率的电弧加热器才能模拟这个条件，而且需要比较集中地烧材料，才能接近这个条件。吴承康带领一批参加工作不久的大学毕业生，自主研制、建设电弧加热实验设备，发展测试技术。经过两年多的努力，1963 年底 920 千瓦的电弧加热器(H4)和一整套(10 种)测量系统与技术研制成功。实验证明，这种技术路线是正确的。后来，701 所拆开风洞部分，也采用亚声速射流驻点烧蚀实验技术方案。对于这段研究经历，吴承康说：“当时在国内对于究竟应该如何进行针对实际的烧蚀实验还不太清楚，一般觉得应该在风洞中产生高温的高超声速气流以在模型上产生与实际相同的流动情况。我在文献调研和对问题思考分析之后，认为要对实际防热材料进行烧蚀，必须在材料表面

① 吴承康：《中程导弹弹头防热实验回忆》，载科学时报社编：《请历史记住他们——中国科学家与“两弹一星”》，暨南大学出版社 1999 年版，第 195—198 页。

有接近实际的高温气流并对材料进行接近实际的高热流加热。在高超声速风洞中，由于通过正激波的总压损失很大，到模型驻点处气流的压力和径向速度梯度很小，不能在模型表面产生足够的热流，也就是说烧不动防热材料。而对于飞行器驻点材料烧蚀来说，只要紧邻表面的气流能模拟实际飞行中激波后的亚声速气流，就能考验材料的防热性能，而不必模拟整个高超声速流场。因此我们应该采用电弧加热的亚声速射流来模拟飞行器驻点的受热情况，这是现实可行的方案。当时我们有十几位刚从大学毕业分配来的年轻人，分别给他们安排了各项任务：电弧加热器研制，电、气、水源建设，试验模型设计，气流总焓、总压、光谱温度测量，模型表面热流、压力分布测量，材料烧蚀速度、表面辐射热流测量，烧蚀过程摄影等。经过方案论证，分头进行工作。在研究所领导大力支持和所加工厂积极配合下，实验室很快从无到有建立起来，实验也很快开展起来。当然实验不可能一帆风顺，中间经过不少次反复，终于成功地取得了比较可靠的几个模拟条件下的有效烧蚀热数据，提供给设计部门。整个一套实验方法也提供给有关部门参考，在早期的飞行器研制中起到一个'先行官'的作用。这些早期的工作经验和思路也为后来的燃气流局部烧蚀试验、电弧风洞研究、等离子体技术研究等开辟了道路。这些工作是典型的根据国家建设的需要，运用基础知识分析判断适当的技术途径，进行目标明确的研究工作的例子。”①

在此基础上，他们还开展了烧蚀机理、模拟理论、等离子体动力学等方面的研究工作。后来，吴承康利用这套实验方法与设备对人造地球卫星回收、远程飞行器防热、飞行器再入大气层通信中断等问题进行了卓有成效的研究，为“两弹一星”工程作出了重要贡献。

3.3 导弹结构强度和稳定性研究(103任务)

103任务为导弹的结构强度和稳定性研究，由力学所十二室承担，并与五院一分院702所(今北京强度环境研究所)合作。根据任务要求，十二室主任李敏华将十二室分成四个研究组：一组程世祜任组长，负责研究圆柱壳的稳定性；二组黄茂光任组长，负责研究加筋板的强度与刚度；三组胡海昌任组长，负责研究夹层结构的强度与刚度；四组李敏华任组长，负责研究快速加温、快速加载下材料的力学性质、弹性薄板的超临界屈曲。

一组在程世祜的指导下，进行了圆柱加筋壳轴压下的稳定性分析，解决了结构

① 吴承康：《有意义的成果必然要解决重要问题》，载李家春主编：《气动热化学——祝贺吴承康院士八十华诞文集》，科学出版社2009年版，第153—157页。

参数的合理选择问题。1962年，他们建立了纸壳试验研究项目，后因人员变动，工作中断，实验室也被撤散。①二组在黄茂光的指导下，完成了四边固支矩形加筋板与四边简支矩形加筋板的受热变形研究。三组在胡海昌的指导下，进行了蜂窝夹层的剪切模量实验，还完成了四边简支矩形夹层板的变形和对某些因素分析的研究报告。其间，在胡海昌的指导下，柳春图写出论文"夹层板方程的变换和四边简支矩形的变形问题"，刊于《力学学报》(1965年第4期)。其研究结果在夹层研究领域很有意义，应用于航天领域既经济又安全。四组在李敏华的指导下，在国内首次研制成功瞬时加热加载高温材料试验机，并完成了高温瞬时拉伸试验，提供了碳钢在不同温度下的应力应变曲线。②在此之前的1959年，李敏华接受过对新研制的复合材料试件进行驻点温度超过1 000度的高温实验任务。十二室承担103任务以后，她参加研制瞬时加热加载材料试验机工作的研究组。她提出应变测量方法，并与组内研究人员一起调研了几种加热方法后确定技术方案，得到试件试验段瞬时的均匀温度，在国内首次研制成功瞬时加热加载材料试验机。③这项任务取得了非常好的结果，为五院的导弹研制提供了理论和实验数据。

在103任务合作研究过程中，十二室经常举行学术讨论会，钱学森有时也来参加。④

3.4　飞行马赫数6以上冲压喷气发动机的探索性研究(104任务)

冲压喷气发动机由进气道、燃烧室和尾喷管三部分组成，利用高速飞行时气流在进气道中被滞止，以提高压强，进入燃烧室后与燃料混合燃烧，产生高温、高压燃气，并以高速从尾喷管喷出，产生推力。104任务由力学所动力室和五院合作，进行高马赫数冲压喷气发动机的关键性课题探索性研究。这项任务分为总体、进气道、燃烧室、尾喷管及冷却五个方面的课题。

在吴仲华的领导下，动力室研究人员开展了四项研究工作：一是飞行马赫数为3—7的冲压式推进机的气动热力性能的研究；二是高马赫数冲压式发动机传热问题分析；三是氢—空气燃烧过程的研究；四是超声速进气道的气动力性能计算。此

---

① 唱秀华、柯受全、石光漪：《程世祜》，载中国科学技术协会编：《中国科学技术专家传略》(工程技术编，力学卷1)，中国科学技术出版社1993年版，第387—396页。

② 杨丫男：《中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作(1956—1966年)》，中国科学技术大学硕士学位论文，2009年，第25页。

③ 毛天祥：《李敏华》，载中国科学技术协会编：《中国科学技术专家传略》(工程技术编，力学卷2)，福建教育出版社1997年版，第54—62页。

④ 刘正常：《庆贺与回忆》，载李和娣主编：《固体力学及进展——庆贺李敏华院士90华诞文集》，科学出版社2007年版，第346—350页。

外,还开展了一些试验研究,建成了超声速爆震波燃烧实验台。这项任务的研究,与当时国际上的进展基本上是同步的。他们在研究工作中建立了一些计算方法和基础数据,为我国在这个领域做了初步的技术积累,具有一定的价值。不过,自1950年代提出这项课题至今,尚无任何国家实现用高马赫数冲压式发动机作为航天动力装置,反映出实现这项技术的难度确实很大。[①]即使是科学与工业基础极为雄厚的美国,也迟至21世纪初才有供试验用的样机问世。

3.5 金属薄板典型零件的爆炸成形理论研究(105任务)

105任务由力学所二室和五院一分院211厂合作,负责金属典型零件的爆炸成形研究。经过双方充分讨论和协商,1961年12月力学所二室与五院一分院211厂正式签订"关于金属爆炸成形研究规划"。合作双方的分工为:二室负责金属薄板典型零件爆炸成形中的理论问题研究,并解决成形试验中的测量技术问题;211厂负责解决爆炸成形的工艺技术问题,并结合生产对典型零件进行系统试验。[②]

在郑哲敏的带领下,二室30多名研究人员与211厂技术人员合作,进行了上千次试验,对所得数据加以分析和整理后,提出了"爆炸成形相似律"理论。它阐明了空化形成过程、成形机制、影响成形的主要参数等问题,从理论和实验两个方面分析了药量、变形量、变薄量等主要参数之间的关系,还阐明了集合相似律的存在,并给出了薄壁零件的能量准则。这些研究成果为典型金属零件的成形加工提供了完整的成形理论。并且,他们还结合生产需要对爆炸成形的工艺进行了研究。

1960年夏,他们首次用爆炸方法制造出一个直径为10厘米的小封头,进而完成了形状复杂的车轮罩成形加工和大油箱的爆炸加工。1961年与杭州锅炉厂合作,完成了不同尺寸封头(直径100—219厘米,厚度8—14厘米)的爆炸成形加工。1963年又与北京锅炉厂合作,完成了1厘米椭球形锅炉封头的爆炸成形加工。在进行锅炉封头爆炸成形加工的工艺研究过程中,他们分析了二次加载与水中空化机制,指出爆炸成形贴模过程是多次打击惯性碾压过程,提出了无模自由成形、惯性模具、惯性压边等新的工艺方法。在测量技术方面,研制成功测量水下爆炸冲量的压力闸(精度超过95%)和测量水下爆炸瞬态压力的晶体测压仪。1964年,这项研究成果获得国家计委、经委和科委联合颁发的全国工业新产品、新技术、新工艺展览大会一等奖。后来,国防工业部门采用爆炸成形新工艺制造出技术要求很高

---

① 杨丫男:《中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作(1956—1966年)》,中国科学技术大学硕士学位论文,2009年,第25—26页。

② 杨丫男:《中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作(1956—1966年)》,中国科学技术大学硕士学位论文,2009年,第26页。

的导弹零部件，还被用于制造核潜艇壳体头部。

在1961—1963年这段时间里，力学所的主要研究力量集中在这五大协作任务上。据统计，1962年全所确定在编的研究、技术人员共414人，其中参加国防尖端技术任务的有330人，占总数的79.7%。[①]在这些研究人员的共同努力下，101—104任务取得了阶段性成果，而105任务更是圆满完成。这个时期，力学所在学术上也有了较好的积累，研究人员集中精力开展了一些理论方面的探索性研究，打下了比较扎实的理论基础。

3.6　独立开展101任务和102任务后续研究工作

由于管理体制等方面的原因，力学所与五院对口单位在协作过程中联系不够紧密，协同程度不高，配合也不够默契，101—104任务的合作研究在1964年初宣告终止。随后，力学所以通过承担101任务和102任务而建立起来的研究队伍、知识积累和实验设施为基础，继续开展氢氧火箭发动机和中程导弹弹头烧蚀防热的研究。

3.6.1　氢氧火箭发动机研制

1964年初，科学院开始考虑重新上马人造地球卫星项目。2月，科学院党组向国家提出利用怀柔基地已经建成的火箭发动机研究试验设备，以及101任务所取得的研究成果和组建的科研队伍，自行研制小推力液氢液氧火箭发动机。这个项目确定下来的原因及过程，据何鼓生回忆："在执行101任务中，按照协议规定，我们与五院定期进行学术交流。在会上基本上是我们介绍研究进展，然后展开讨论。初期双方领导非常重视，主要领导亲自参加，交流讨论热烈。随着时间推移，对方越来越没兴趣，与会人员档次越来越低，最后只来了几位刚参加工作不久的年轻人。这种情况不由得使我们感到困惑。""这时室内一批业务骨干开始思考我们工作的实际意义，思考我们的出路何在？有人提出自己搞研制行不行？这个意见反映到所里，所领导非常重视，迅速向院领导汇报。这时，科学院正在酝酿卫星项目重新上马的问题，而用液氢液氧火箭发动机作为运载火箭第三级有很多独特的优势。"[②]根据当时形势的需要，国防科委同意了这项研制任务，确定由力学所用三年左右的时间研制出一台推力为500公斤的气压式液氢液氧火箭发动机。

为开展这项研制任务，力学所1964年1月在北京矿冶学校以十三室为基础成立怀柔分部，靳汝泽任分部主任，林鸿荪任副主任并负责分部的业务工作，将主要

---

① 杨丫男：《中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作（1956—1966年）》，中国科学技术大学硕士学位论文，2009年，第27页。

② 何鼓生：《回顾在怀柔试验基地的十年》，http://lxyd.imech.ac.cn/info/detail.asp?infono=13797。

精力投入到液氢液氧火箭发动机的研究和试验。原十三室承担101任务的8个研究组的人员进行了重新组合，成立了三个研究室：十三室负责燃烧室的研制与地面试验（共51人），由陈良、成器负责；十四室负责液氢低温容器及输送系统的研制（共37人），由龚堡、杨叔楹负责；十五室负责发动机总体、高压容器及立式试车台的设计与建设（共25人），由潘沛霖、陈显余负责。

经过机构与人员调整之后，怀柔分部立即投入工作，效率很高。十五室仅用一个多月时间就完成了500公斤推力气压式液氢液氧火箭发动机的总体设计，初步确定了发动机的流程方案、工作参数与总体结构，提出了液氢再生冷却夹层的流动计算方法。十三室用半年时间就将原 S_{1A} 试车台改造成液氢液氧发动机试车台（代号1302），初步解决了液氢输送系统的绝热、液氢阀门的工作性能、试车台的操作、测量与控制技术问题。在科学院物理所低温研究室的配合下，十三室和十四室突破了一系列技术难关，研制出液氢的低温阀门、输送管道和储运设备，解决了液氢、液氧的流量与温度等参数的低温测量与标定问题。十五室在比较短的时间内研制出玻璃钢高压容器，在S2试验区建立了发动机立式地面试车台，并计划在1965年上半年开始立式发动机试车。①并且，怀柔分部还先后建成了推力为200公斤和500公斤的发动机试车台及相应的实验测试设备。经过100多次燃烧与传热原理的实验研究，特别是在成功实验气氢液氧火箭发动机燃烧室的基础上，在林鸿荪的指挥下，1964年11月24日我国第一次以液氢和液氧为推进剂、推力为500公斤的火箭发动机（1302）地面试车点火试验获得成功，试车时间超过20秒。这标志着我国高性能火箭发动机研制取得了重大技术（尤其是液氢低温技术）突破，也是液氢从实验室少量使用转移到较大量工业化应用过程中的一次重要突破。

1965年初，由于"四清"运动开始，氢氧火箭发动机研制工作逐渐陷于停顿。5月，中央专委十二次会议决定由科学院承担研制地对超低空导弹的任务（代号541），并将其落实到怀柔分部，负责进行总体设计。随后，怀柔分部从事氢氧火箭发动机研制的研究人员大部分转移到541任务，只有部分人员留守，坚持原来的研制工作。1966年5月，"文革"开始，整个研制工作受阻，加上541任务十分繁重，氢氧火箭发动机的研制工作不得不停止下来。在独立研制氢氧火箭发动机的这段时间里，怀柔分部取得的研究成果主要有以下方面：一、进行了500公斤推力气压式液氢液氧火箭发动机的总体设计。初步确定了发动机的流程方案、工作参数与总体结构，提出了计算液氢再生冷却夹层的流动计算方法。二、建成了500公斤推力的液氢液氧火箭燃烧室试车台（代号1302），并首次点火成功。初步掌握了液氢

---

① 何鼓生：《回顾在怀柔试验基地的十年》，http://lxyd.imech.ac.cn/info/detail.asp?infono=13797。

低温技术，解决了液氢输送系统的绝热、液氢阀门的工作性能、试车台的操作、测量与控制技术等问题。三、在200公斤推力气氢液氢火箭发动机燃烧室试车台上进行了40余次调整试验，基本解决了点火启动、喷注器形式、燃烧室压力调节、混合比的控制、液氢与气氢的流量测量及推力测量等技术问题。四、建成了生产能力为8立方米/时的气氢站和60立方米/时的高压空气站。在此基础上，进行了液氧的传热与阻力试验研究，完成了392牛/平方厘米压强下液氧等温流动阻力的试验研究。①

1966年3月31日，国防科委(66)科五字第196号文件下达"关于组织液氢液氧发动机的探索研究成果的鉴定总结事"，肯定了力学所的工作成绩，认为："1960年以来，科学院力学所对液氢液氧火箭发动机的探索研究、试验作了大量的工作，先后建立了二百公斤和五百公斤推力的发动机试车台及其他测试设备，进行了一百多次气氢液氧发动机试车，取得了一定成绩，为开展液氢液氧发动机的研制创造了有利条件"。②为了鉴定和保存已经取得的研究成果、总结研制经验，由科学院负责，七机部派人参加，1966年4月力学所完成研究成果鉴定和工作总结，并将全部技术资料和研究成果毫无保留地移交给七机部，由"七机部在成果及资料的基础上，负责抓紧开展液氢液氧火箭发动机的研制工作"。③

在这些预先性研究的基础上，七机部1970年代初开始大规模研制液氢液氧火箭发动机，上马具体的工程型号。1983年8月14日，"长征三号"运载火箭氢氧三子级试车取得完全成功。1984年4月8日，我国采用自主研制的氢氧发动机作三级动力的"长征三号"运载火箭首次发射试验同步通信卫星取得成功，使我国运载火箭技术迈上了一个新的台阶。这项研究工作是力学所承担尖端技术探路工作，先走一步，为工程设计服务的成功范例。自1960年代初开始，在钱学森的直接领导下，林鸿荪组织力学所十三室(怀柔分部)研究人员开展液氢液氧火箭发动机的探索性研究，历时六七年。由于种种原因，其间任务多次变动，给研究工作造成了很多困难，但林鸿荪和其他研究人员锲而不舍，坚持工作，最终取得了重要成果，为我国火箭技术的突破作出了重要贡献。钱学森对林鸿荪的工作十分满意，曾高兴地对力学所党委书记、副所长张从周说："由于保密，力学所许多工作同志并不太知道他做的工作意义有多大，但我很清楚，这些研究报告，即使是不成功的结果，对我们整体的工作都是一笔财富。"④言语之中，表露出对林鸿荪的开创性工作和奉献

① 杨丫男：《中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作(1956—1966年)》，中国科学技术大学硕士学位论文，2009年，第32页。

② 转引自杨丫男：《中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作(1956—1966年)》，中国科学技术大学硕士学位论文，2009年，第32—33页。

③ 何鼓生：《回顾在怀柔试验基地的十年》，http://lxyd.imech.ac.cn/info/detail.asp? infono=13797。

④ 中国力学学会：《中国力学会会史》，上海交通大学出版社2008年版，第18页。

精神的嘉许。

3.6.2 中程导弹弹头烧蚀防热研究

1964年初，力学所十一室与五院744部队的合作终止后，接受五院型号设计部门(14所)的委托，决定继续开展中程导弹弹头烧蚀防热问题的研究(28号任务)。1964年1月15日，五院的庄逢甘主持召开115会议，力学所和国防部门多个研究单位参加了会议。当时，力学所H4电弧加热器以及配套的测量技术刚刚建立起来。五院型号设计部门听取十一室关于中程导弹弹头烧蚀防热问题的研究工作介绍之后，决定跟十一室密切联系，学习掌握每一种实验和测量方法。2月8日，力学所与五院一分院14所签订任务书，继续合作开展中程导弹弹头烧蚀防热问题的研究。它在力学所被称为“28号任务”，实质上为102任务的延续。

在102任务研究过程中，十一室提出了实验技术方案，建立了电源功率为920千瓦的电弧加热器和配套的测量技术，并给出了初步的实验结果。不过，针对具体的防热材料进行烧蚀参数测量是在承担28号任务过程中完成的。1965年，十一室大部分研究人员去山西参加“四清”运动，吴承康组织留下来的10个左右的研究人员继续开展烧蚀实验。在他们的共同努力下，28号任务进展迅速，到1965年底完成了原定指标。他们研究了各项测试技术，针对各种待用的防热材料进行了大量的实验研究，取得了一系列有效的烧蚀防热数据，提出了结构设计原则，均为型号设计部门采用。后来，七机部专门致函力学所，说烧蚀实验工作在中程导弹研制中起到重要作用，尤其是给出了比较可靠的5个条件下的防热材料有效烧蚀热数据，有着十分重要的意义。①

这些研究工作不仅为我国中程导弹研制作出了重要贡献，还为建立大型电弧加热器和电弧风洞培养了专业人才，积累了研制经验和技术资料。与此同时，吴承康带领研究人员在电弧等离子体发生器的工作机理、设计，新型发生器的研制，等离子体诊断等方面做了大量工作，积累了丰富的研究经验。在这些工作的基础上，吴承康还开展了热等离子体的理论研究。热等离子体是一门高度交叉的综合学科(流体、热学、物理、化学等)，它是在1950—1960年代由高速飞行器再入大气层的“热障”问题推动而发展起来的，1970—1980年代推广至许多领域。在吴承康的组织下，力学所研制出多种电弧等离子体发生器，并在电磁流体力学和等离子体动力学应用方面取得了显著成果，成为我国热离子体研究的主要单位之一，在国际上也有一定的影响。

---

① 吴承康:《中程导弹弹头防热实验回忆》，载科学时报社编:《请历史记住他们——中国科学家与“两弹一星”》，暨南大学出版社1999年版，第195—198页。

在飞行器再入气动、防热研究方面，作出重要贡献的还有卞荫贵和俞鸿儒领导的研究组。从1960年代初到1980年代初，卞荫贵领导研究组进行高超声速飞行器再入物理学方面的理论研究，先后开展了高超声速等离子体鞘套、尾迹流场及其散射效应、高超声速飞行器底部流及传热、球锥体粘性激波层数值解等多项课题的研究。由他直接参与和领导的课题组对于最难攻克的底部流动问题结合实际数据进行了相关分析，得到无烧蚀情况下的理论解。课题组提出了玻璃纤维增强塑料烧蚀及碳材料定常与非定常烧蚀的理论，这一研究成果被国防工业部门采用。卞荫贵汇集多年的研究实践与经验，1986年与他的助手钟家康合著出版《高温边界层传热》一书。[①]俞鸿儒领导的课题组在激波管中利用薄膜电阻温度计获得高超声速流球头驻点热流的结果。这些研究结果和方法均为型号设计部门采用，在研制工作中起到先导作用。[②]

力学所在这段时间的工作成果为我国攻克洲际导弹弹头防热难题奠定了扎实的基础。1975年5月，中央批准"东风五号"洲际导弹试验规划。9月，七机部"东风五号"弹头气动会议召开(代号910会议)以后，力学所立即投入910任务(战略导弹弹头气动力、气动热及气动物理研究)的研究。研究人员先后完成了弹头烧蚀防热、烧蚀图像、发汗冷却、再入舱表面传热、天线窗与弹头底部热环境、弹头气动力特性及飞行稳定性、水下点火动载荷、再入通信中断、回收弹头气动方案、再入尾迹光电特性、机动弹头再入气动力气动热、大推力运载火箭级间分离、粒子云侵蚀、喷管抗热辐射可靠性等与型号研制密切相关的研究工作。在理论研究方面，开展了包括三维粘性饶流数值模拟、流体运动扩散抛物化方程、稀薄气体非平衡流动直接模拟、再入弹头全目标特性计算、二相流理论等问题的研究，为第一代和第二代战略导弹的研制成功作出了重要贡献。[③]航空航天部1990年出版的《纪念910工程十五周年文集》中写道："1975年到1979年，作为第一阶段，在这一阶段，集中攻克型号研制中急需解决的技术关键……针对东风五号弹头防热方案进行了大量的分析计算和地面模拟试验，特别是对烧蚀图像、局部烧蚀……等问题进行重点研究，对完成第一代弹头气动防热设计作出了重要贡献。"[④]

综上所述，力学所结合国家战略需求，以"上天"为背景，1960年代前期在导弹、火箭的关键技术方面承担了多项重要任务，尤其是在液氢液氧火箭发动机燃

---

① 赵烈、牛家玉：《卞荫贵》，载中国科学技术协会编：《中国科学技术专家传略》(工程技术编，力学卷1)，中国科学技术出版社1993年版，第353—359页。

② 王扬宗、曹效业：《中国科学院院属单位简史》(第一卷，上册)，科学出版社2010年版，第163页。

③ 王扬宗、曹效业：《中国科学院院属单位简史》(第一卷，上册)，科学出版社2010年版，第164页。

④ 转引自陈丽芳：《吴承康》，载中国科学技术协会编：《中国科学技术专家传略》(工程技术编，力学卷2)，福建教育出版社1997年版，第309—316页。

烧、传热理论与实验，导弹气动力学问题，轻结构的强度和稳定性，金属薄板典型零件爆炸成形等与力学有关的理论研究方面，集中优势力量进行了探索性研究，取得了非常出色的研究成果，为我国攻克导弹、火箭的关键技术作出了突出贡献。而且，在承担这些重要任务过程中，力学所在相关领域的理论研究上取得了丰硕成果，培养出一支优秀的科研队伍，建立起完整配套的实验设备和实验技术体系，为后来的深入发展准备了良好的理论、人才与技术基础。

第四节　钱学森对力学所研究工作的指导

受国家科学工作指导方针与评价机制影响，科学院希望更多地承担国家任务，甚至上马型号产品研制，以在国家尖端技术研制当中占有一席之地。这在当时环境下有其必要性和合理性，却给力学所造成很大的压力，使其在学科理论和型号任务之间摇摆不定。“大跃进”运动开始以后，钱学森的主要精力逐渐转向国防部五院，对力学所的事情过问不多。力学所的日常业务工作主要由郭永怀负责，行政工作由党委书记兼副所长杨刚毅负责。由于肩负着繁重的国防科研任务，郭永怀每周也只有一半的时间在力学所。据眭璞如回忆：“郭所长抓工作特别细，抓工作一直具体到课题组。他也这样要求下面的科研干部。汇报时室主任先讲，课题组长补充，一直细到理论、方案、模型、计算推导、实验验证都不放过。方式不是坐下来读准备好的稿子，要站在黑板前一面讲一面写出主要结果，有时还得进行推导演算。郭所长也常会站在黑板前和大家一起讨论。每次汇报完不仅工作上得到指导，在学术上也受益匪浅”。[①]钱学森尽管十分繁忙，但还是经常对力学所的工作提出指导性意见，希望以此保证其在方向上不至出现明显偏差。

1961 年上半年以前，力学所二部是抓实的，目标是做出具体的型号产品。中央“八字”方针提出以后，国家缩减基本投资，科学院和力学所决定以后不做产品，而是与五院配合，承担理论性课题，如力学所十一室和五院空气动力研究所合作，十二室和结构力学研究所合作，十三室和液体发动机研究所合作。自 1960 年代初开始，力学所承担的国防尖端技术项目开始增多。1961 年 5 月液氢液氧火箭发动机协作项目上马后，钱学森非常重视，基本上每周都会去一次力学所二部。他指导

---

① 眭璞如：《点滴回忆深切怀念》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009 年，第7—11 页。

十三研究室进行攻关的方式是，用半天时间听取各小课题组的汇报，并与课题组骨干人员深入讨论交流，对工作过程中出现的各种问题提出指导性意见，并将汇报、讨论记录整理成文，便于课题组会后消化吸收和贯彻落实。①这对科研攻关、培养人才、提高研究水平起了相当重要的作用。钱学森对研究工作要求很严格，要求按时汇报，介绍新进展。据曾在十三室工作的吴文权回忆："有一次，林鸿荪主任汇报中间离题了，他立马就给打断：'这些不用给我讲了，你回去给他们(指我们)讲讲就可以了！'他指导科研工作很'武断'，有'霸气'，但是也不含糊，很明确，若有问题是蒙不过他的。"②正是由于钱学森给十三室指明了正确的工作方向，大家对研究工作很有信心，研究任务得以一步一步地向前扎实推进。

1960年代中期以后，由于种种原因，力学所开展的许多研究工作偏离了钱学森的办所理念，甚至意见相左。针对这种状况，钱学森利用各种机会与力学所的领导干部、业务骨干进行交流和沟通，希望能有所改观。1965年2月27日，钱学森与力学所社教工作队的几位队长就力学所的工作方向与任务等问题做过一次坦率而又意味深长的谈话，③以纠正工作方向与任务上的偏差，让研究任务按照正确的轨道向前推进。

首先，他指出力学所的工作存在理论脱离实际的缺点。他说，力学所"在和五院协作中出现了一些具体问题，除一些人的风格问题外，最根本问题是力学所科研工作脱离实际。力学所说五院同志没交底。五院结构力学研究所所长说，我只了解那么一点，五院设计弹头的底也就只有这么多。因为发动机研究所本身也不是设计单位，没有第一手材料"。还有一个问题，"力学所的队伍没打过硬仗。搞理论研究基本功没有具备。没有实践的压力，基本功就不能过硬。十三室有的青年人七、八年了，作理论工作有困难。十二室条件好一些(我们国家搞板壳的别的地方还没有)，有胡海昌，但十二室也是脱离实际的。所以搞理论研究十一、十二室不行，十二室稍有点可能。总的是不行。这个问题在科学院是不可能解决的。"所以，"力学所在一九六一到一九六四年(三年半)没有什么大成果。燃烧问题总的来说在我国是解决了，其中有力学所一份功劳。但到底有多少？不好估计。我的估计(我回到力学所说话)不太大。这项工作从实际需要来说差不多了，没有必要再作下去了。"

---

① 陈良：《中科院和力学所的火箭推进和人造卫星研究》，载李家春、樊菁主编：《钱学森——在创建力学所的日子里》，科学出版社2011年版，第164—178页。

② 吴文权：《钱学森指导我们研究不稳定燃烧》，载李家春、樊菁主编：《钱学森——在创建力学所的日子里》，科学出版社2011年版，第190—191页。

③ 《钱学森同志对力学所方向任务的看法(1965年3月13日)》，中国科学院档案馆。

其次，关于怀柔分部的研究工作。针对十一室，他说："十一室不是没有事干，还有新的任务，即防御弹道式导弹问题。这项任务不单是力学所，而且要和电子所、物理所、电工所联合起来。从大家需要来看，是个很大的任务。国防科委已有书面通知到科学院。"关于十二室，他说："十二室也有很多工作，是（五院）陆续提出的。杨刚毅同志欣赏胡海昌的做法，以不变应万变。认为根据过去经验，跟你走要落个空，不如自已走。因此对五院课题没有打算安排。如药柱强度课题，眭璞如（十二室副主任）说没有力量，不大想积极去做。这个课题我估计他们有能力做，也有需要，而且不是很短时间能完，需要三年五载。可能做起来有一定困难，实验条件没有五院好。"

十三室的工作是钱学森这次谈话的重点。其一，他认为研制氢氧发动机"这个做法是不对的"。他说："那次我和分部青年同志讲话，不同意分部工作作法，从组织原则讲，是不恰当的，不很冷静。不管事先是否和我商量过，但作为力学所党委的意见，一个党员只能表示拥护。但问题的另一面是，十三室这个做法是不对的。"其二，他对氢氧发动机任务的确定有不同看法。他说："液氢液氧发动机的研究是一九六一年开始的，我每一、二星期去一次。我给他们力学课题，据说他们感到题目太难，做法有困难（我是听刚毅同志说的，没有得到第一手材料，分部组织上也没有告诉我有这个问题）。另一方面刚毅同志去年从院党组扩大会回来，说院部对力学所有意见，认为力学所投资这么大，没出成果，他感到压力很大，不可终日。""有一次福利楼上开会后，我对张副院长说，力学所本身不出产品，是出报告，当然它要联系实际，解决工程技术中需要的资料。有的人好像要力学所做个机器，我感到这是有困难的。""刚毅同志到怀柔分部要求作液氢液氧火箭发动机的任务。李毓昌不赞成，觉得这样做不行。我听了也觉得不行。大约去年四、五月我找刚毅说过，我们不具备这个条件，搞这个任务的机械加工问题不要说分部不行，就是连科学院也不具备。液氢液氧发动机不在于原理，原理是早已知道的，需要和材料、生产联系起来。如果穷凑合做出来了，一定是又重、效率又低，对设计部门没有用处。五院设计部门还得全部重来。"

杨刚毅曾向钱学森解释过十三室研究任务确定的缘由，一是有些研究人员对于钱学森安排的理论工作有意见，二是研制氢氧火箭发动机是科学院安排下来的任务。对此，钱学森"觉得不安"。1964 年 4 月底的一个晚上，他找到杨刚毅说："群众既然已动员了，再转一百八十度不合适，但所领导要知道这个情况，适当时候转过来。"杨刚毅回答说，做还是要做，但不发射了。钱学森说："将来还是要向青年同志作检讨的，没把他们引导到正确道路上去。后来，大概是秋天了，青年同志找我时，我不大冷静，说了这么一通。"钱学森多次对杨刚毅说他不同意这个安排："搞

'小而高'不行,这没有用处,是小孩弄的,真的家伙要重新来。液氢液氧火箭发动机最困难的是冷却通道问题和泵的问题,小的没有这两个问题。"怀柔分部业务负责人林鸿荪也不满意上级部门的这个安排,曾对钱学森表示不赞成,"但组织上作出决定,他要执行。"

其三,关于国防科委对力学所上马研制氢氧火箭发动机的态度。钱学森说:"大概是去年五月份,有一次会,国防科委孙式性局长主持,新技术局谷羽、五院科技部部长宋景祥、杨刚毅都参加了。会上很紧张,谷局长对五院协作关系提意见,然后提出要搞液氢液氧火箭发动机。宋不能反对科学院搞,没有办法,只好作检讨。孙局长怕造成僵局,就说科学院这样做也可以。后来郭永怀对我说,国防科委有信给力学所,信上说,同意搞发动机,也不能放弃理论工作。""一九六四年十月开过发动机规划会的预备会,五院提的草案中要力学所搞燃烧振荡问题,林鸿荪代表所党委说不能作。五院参加会的同志问我'怎么办?'我说:'要说原则,说清楚什么是当前,什么是今后。力学所想做什么,说做什么,不能勉强。当前最重要的问题是燃烧震荡问题。液氢液氧火箭发动机是下一步的问题,少数人作探索性研究就可以。'"当时,"我以为林鸿荪会把这些意见向刚毅汇报的。会后我和刚毅说力学所未接受当前任务。他说没有听到汇报,而且说代表们回来很满意,认为会议满足了力学所(搞液氢液氧火箭发动机)的要求。实际上这是草案,国防科委对力学所搞液氢液氧火箭发动机还没有定案。国防科委多数是被迫同意的,孙式性这个人不那么硬。"

其四,关于怀柔分部今后的工作方向。钱学森认为,五院准备搞液氢液氧火箭发动机,但不是立即上马,准备先摸摸技术性问题。力学所"不结合具体很困难。火箭只是七机部搞,可能要和七机部结合"。其间,有人插话问道:"一九六五年到一九七二年五院不搞,是否先在怀柔分部搞,以后再连人一起划给七机部?"钱学森认为,这"没有用处,结果五院还是要重新搞"。还有人问:"对院里搞固体火箭的看法?"钱学森回答说:"不如七机部搞合适。"

由于主观认识上的差异以及社会环境的影响,力学所内部在是否应该开展型号产品研制这个问题上出现了不同的认识。杨刚毅等行政领导和部分研究人员希望力学所与国防部五院等产业部门一样,开展型号产品研制,做出"活蹦乱跳"的东西来。钱学森与郭永怀等人则始终坚持认为力学所应主要承担理论性工作,为国防部五院等型号研制部门提供理论指导和设计数据,由后者负责工程化研制。从谈话内容可以看出,钱学森的态度是开诚布公的,甚至做出了有的放矢的批评,直言不讳地表达了对力学所研究工作的看法。按照他的科研理念,"主张将科学院变成为尖端科学技术工业部。既有理论,又有实践,也有小批生产,也解决半工半研

问题。如受激光，要出产品，又有理论工作。科学院永远是建立新技术的部门，培养过硬的理论队伍。”潜台词就是，希望以理论研究见长的力学所充分发挥技术科学理论和实验优势，在新概念、新方法、新技术上下工夫，为国防尖端技术发展探路，与型号设计部门密切配合，为完成国家重大任务作出贡献，同时建立和发展有关新技术的学科理论和实验技术，培养人才队伍，这才是力学所工作的出发点和根本价值所在。然而，这个理念在当时难以得到贯彻并坚持下去。力学所的工作方向背离钱学森的办所理念，反映出作为体制内研究机构的力学所首先必须忠实执行体制的意志，即便所长钱学森是受体制垂青的科技工作领导人，依然要受到不少掣肘，不得不在工程研制任务与学科理论建设之间努力寻求合适的支撑点。

第五节　积极培育和发展新兴学科

1960 年代，承担国防尖端技术任务一直是力学所主要的工作内容。其间，钱学森、郭永怀审时度势，不失时机地将国防任务与理论研究结合起来，在完成任务的前提下设法推进技术科学的学科理论建设。力学所在开展与导弹、火箭及星际航行有关的力学问题研究的同时，着重推进超高速空气动力学、高温结构以及与火箭发动机设计有关的工程热物理、化学流体力学等学科或方向的研究，还开辟物理力学、电磁流体力学、爆炸力学等新兴学科领域。

5.1　物理力学

物理力学这门新学科在力学所建立之初，钱学森认为急需建立一支为国家目标服务的物理力学学术队伍。1958 年，他与郭永怀在中国科技大学化学物理系设立物理力学专业。这个专业的学生在物理、化学、数学等方面的基础比较扎实，先后有三届毕业生进入力学所工作，组成了物理力学研究室。对于这批比较稚嫩的青年研究人员，钱学森非常重视他们的成长，专门在力学所组织学术讨论班，培养人才，推进研究。

虽然钱学森始终信心坚定，努力排除各种干扰，物理力学在中国却一直是在夹缝中求生存，命运多舛。在“上天、入地、下海”的“大跃进”时代，物理力学研究室被撤销。1961 年在贯彻中央“八字”方针时，力学所恢复了物理力学研究队伍，物理力学借机死而复生，并迎来一个稳定成长的时期。为解决“两弹”研制中的重大技术问题，物理力学研究室开辟了高温气体、高压气体、高温辐射和超临界态这三个专题方向，钱希真负责高温辐射和超临界态，崔季平负责高温气体，陈致英负责高

压气体，这也是科大物理力学专业的三个专题方向。到了 1964 年，增加了高压固体方向，这样物理力学研究室形成了四个专题方向组。当时，钱学森给每个专题方向任命一个组长，组长需要按照他确定的方向和规定的范围去做具体的研究课题，然后把这些课题分解成小题目，由新近参加工作的研究实习员去做。这四个专题组每周六下午举行学术报告会，钱学森都来参加，他对物理力学研究室的指导主要是通过这个学术报告会。"每次报告会他都有一段开场白，他会说现在他有什么新的想法、国外有什么进展、对我们的影响是什么、我们的战略布局是怎样的等等，他的这个开场白是很重要的。"然后，各专题组组长报告组里最近做了些什么工作，接着研究实习员拿着做的结果在讨论会上报告。报告之后，钱学森向报告人提问，启发大家共同来关心讨论这个人所做工作的问题。最后，"他要作总结，评价哪个做得好，哪个做得不好，应该怎么做。"[①]除了研究室的研究人员外，参加讨论班的还有钱学森指导的物理力学专业研究生，如范良藻回忆说："第一次见到先生后，我就加入了物理力学讨论班。一个团队组织一个讨论班，互教互学、轮流演讲，这是先生一贯的治学方法。"[②]这样，学术报告会就热火朝天地开展起来了。

1964 年 7 月力学所成立独立的物理力学研究室后，钱学森设法让研究室进入到国家队伍里面，跟国家科学发展的宏观规划挂钩，以服务国家目标和需要。实际上，物理力学研究室所设立的专题方向虽然是钱学森从学科角度提出来的，但均有工程应用背景和目的，思想非常超前。曾在郭永怀的指导下研究物理力学的陈致英说：钱学森很重视基础研究，有很深远的工程目的，这种思想方法叫工程科学或技术科学。工程科学不是纯理论的，也不是仅搞工程技术，当时提出的物理力学的四个主题都是希望应用基本的物理原理解决工程技术中复杂而困难的问题。比如超临界态是物理力学的一个方面，也是燃烧过程中的一个状态，钱学森在 1961 年就考虑要发展这个研究方向。[③]崔季平也说，钱学森物理力学的思想非常超前，想在更为基础性的微观基础上推进工程技术的发展。当时，钱学森对郭永怀说，要对飞行器周围极高温度下各种物理化学问题，包括高温气体等，都要进行研究。但在追求立竿见影的时代环境下，许多想法未能得到支持。"唯一剩下的一个小分支，就是高温气体，因为郭永怀先生在最初保护了一下而得以幸存。"[④]钱学森、郭永怀一开始就把高温气体性质的研究作为高温气体动力学的组成部分。1958 年，郭永怀将钱学森指导的物理力学研究组和他指导的流体力学激波管实验组融合重组，

---

① 崔季平：《钱学森物理力学思想回顾》，载李家春、樊菁主编：《钱学森——在创建力学所的日子里》，科学出版社 2011 年版，第 119—123 页。

② 范良藻：《钱学森先生的思维哲学和治学之道》，《科学时报》2006 年 12 月 11 日。

③④ 王卉、张巧玲、潘希：《从物理力学起落看钱学森学术思想》，《科学时报》2009 年 11 月 12 日。

成立高温气体性质研究小组，其目标是通过激波管获得高温气体，并结合气体的微观动力学理论，以喷气推进与高超声速气流中的高温现象和气体性质为对象进行实验研究。郭永怀进一步明确指出，这个研究组是为未来的工程技术发展提供基础性的动力学概念、物理规律和基本数据。①后来，高温气体组参与了 640—5 任务、910 工程等重要国防科研项目，在研究队伍、科研积累和研究方向等方面打下了较好的基础。在此基础上，1994 年科学院批准其成立高温气体动力学重点实验室，以高超声速气体动力学、稀薄气体动力学和化学气体动力学等具有共性的高温气体动力学问题作为研究方向。

到 1965 年，物理力学研究室拥有研究人员 50 人，形成了有一定攻坚能力的研究队伍，建立了初具规模的高温激波管实验室。在这段比较短暂的时间里，物理力学研究室虽然前进之路充满曲折，但还是取得了一些可喜的成果。在高温气体方面，计算了高温气体的热力学平衡与输送性质、离子化气体性质及离化过程、辐射性质与光谱等。在固体材料性质的微观理论方面，给出了多种材料在高压下的状态方程的计算方法；用赝势理论对固体的弹性与理论强度进行了由原子角出发的理论计算。建立了凝聚态炸药爆震的微观理论计算方法。在近临界物态物性参数的研究方面，提出了临界区附近物性参数的计算方法。②

当时，物理力学研究室是全国唯一的物理力学研究机构，不免显得有些孤单。为推动我国物理力学的发展和繁荣，钱学森做了大量工作。1957 年 2 月 17 日，他在中国物理学会北京分会的学术会议上专门介绍物理力学的理论来源、研究方法和内容，让学术界更加深入地认识物理力学这门新兴学科。③1963 年 8 月，中国物理学会在北京召开第二届会员大会及 1963 年学术会议，他又在会上做了“力学中的几个物理学问题”的学术报告。报告针对高温气体、高压气体、超高压固体的性质问题，尝试利用物质结构的知识，从微观性质出发，综合得出宏观的性质。④要解决好物理力学问题，没有深厚的原子分子物理学理论基础是不行的。为了进一步发展物理力学，还需根据原子分子物理学的需要，发展、应用物理力学。在钱学森的提议下，1963 年苟清泉从原子分子物理学出发，积极开展对物理力学所提出的高温高压物理问题的研究，指导研究生计算了高压下铜的 3d 电子能谱；研究了固体和气体中的原子间相互作用势及其状态方程，提出了一种解决百万到千万大气

① 崔季平：《郭永怀与高温气体物理力学研究》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009 年，第 87—89 页。

② 王元、王绶琯、郑哲敏：《中国科学院数学、天文学和力学四十年》，《中国科学院院刊》1989 年第 4 期。

③ 钱学森：《物理力学介绍》，《物理通报》1957 年第 4 期。

④ 钱学森、崔季平：《力学中的几个物理学问题》，载中国物理学会编：《中国物理学会 1963 年学术会议综述性报告文集》，科学出版社 1964 年版，第 211—215 页。

压范围内固体状态方程的新方法。[①]而且，在钱学森与荀清泉等人的倡导和推动下，1966 年 2 月中国力学学会与中国物理学会在北京联合召开第一届全国物理力学学术会议，即“原子分子物理与物理力学学术座谈会”。会议宣读论文 40 余篇，包括高温气体、高温辐射、高压固体以及高压固体方面的内容，其中有些成果被国防科研部门采用。钱学森在讨论会上做了“如何从原子分子物理学出发搞发明创造”的报告，再次阐释物理力学的研究方法和途径。这次会议提出以原子分子物理学为基础研究物理力学，让学术界认识到结合物理力学的需要推动原子分子物理学的进一步发展也是很重要的，促进了两门学科的合作与发展。

令人扼腕叹息的是，“文革”开始后，物理力学研究室再次被解散。1970 年代，美国在这方面的研究成果获得了诺贝尔物理学奖，而中国物理力学研究人员早已被迫放弃攻研，正在“上山砍柴”、“与工农结合”。“文革”结束后的 1978 年，钱学森在全国力学规划会议上发表讲话，强调力学的技术科学性质和力学的微观化发展道路，物理力学再次在规划中被列为重点发展的边缘学科之一。[②]1979 年，力学所恢复物理力学研究室。经过艰苦努力，物理力学这门技术科学在国内取得了比较明显的发展。1986 年，荀清泉在四川成都主持召开了中国力学学会第二届全国物理力学学术会议，参加人数达 100 多人，提出论文和报告 60 多篇，内容比较广泛，标志着物理力学逐渐兴旺起来。会上，还成立了中国力学学会物理力学专业委员会，荀清泉被选为主任委员。

然而，科学院在转型过程中强调科研工作面向国民经济主战场，物理力学因为一时无法在经济建设中派上用场，物理力学研究室在 1993 年再次被撤消。对于这件事情，崔季平说：“物理力学面临解体时，我给钱先生写了封信，他说你要顶住。当然最终还是面对被取消的命运。”谈庆明认为，钱学森的宏观与微观相结合、学科之间要交叉这两个思想，较好地体现在物理力学、爆炸力学、等离子体力学这三个被力学所取消的交叉学科之中。而物理力学是钱学森最心爱的学科，也是花费精力最多的一块。李佩也表示：“国内科研有时与政治、社会氛围有关，如果当时能坚持走下去，可能现在的情况会大不一样。在急功近利的氛围下，基础科学在一些时候无法得到应有的发展，有些甚至消亡。爆炸力学、物理力学、等离子体力学在 1993 年被取消了，这是非常短见的事情。作科学研究不能以能不能拿到钱为主要目标。”[③]最终的结果，物理力学生而复死，在其创始人的大本营无奈地失去了栖身之地，不能不令人痛心疾首。

---

① 朱正和：《荀清泉》，载中国科学技术协会编：《中国科学技术专家传略》（工程技术编，力学卷 1），中国科学技术出版社 1993 年版，第317—325 页。

② 钱学森：《现代力学——在 1978 年全国力学规划会议上的发言》，《力学与实践》1979 年第 1 期。

③ 王卉、张巧玲、潘希：《从物理力学起落看钱学森学术思想》，《科学时报》2009 年 11 月 12 日。

5.2 爆炸力学及其在国民经济中的应用

力学所是国内最早开展爆破和爆炸成形研究的机构。"大跃进"运动开始后，力学所四室组织开展了爆炸深耕、爆破筑坝等工作。在 1961 年任务调整过程中，原四室被解散，有关研究人员被调整到其他研究室，参与所在室的工作。以郑哲敏为首的原四室爆炸成形研究人员调整到了二室，与原二室的爆破组和火钻组合并，组成新的以爆炸力学为研究方向的集体。此后，二室的工作方向分为爆炸力学和土力学，分别由郑哲敏和钱寿易负责。1960 年代初以后，力学所在爆炸力学领域主要开展了三个方面的工作：一是爆炸成形中的力学问题研究；二是定向爆破中的理论问题研究；三是与核爆炸有关的理论研究。

1959 年，钱学森指出力学可以直接与工艺结合，爆炸成形研究可能形成这样的工艺力学。[①]这是钱学森首次提出爆炸成形可以形成工艺力学。对此，郑哲敏回忆说："钱学森先生回国的时候，先是安排我做抗震，我当时研究的主要是水坝抗震，具体对象是刘家峡"。1960 年，抗震工作转交给哈尔滨工程力学所。钱学森就跟他说："抗震让别人干，但是你得开辟一个新方向。"[②]随后，郑哲敏与所在的四室并入二室，主要研究爆破问题。从这时起，郑哲敏开始探索"高速高压塑性动力学"，研究爆炸成形问题。起初，他们经历了失败和挫折。他们注意爆炸成形的机理，并有意识地将其作为力学的一个新兴分支学科来发展，是承担 105 任务以后的事情。

1961 年，力学所承担了 211 厂的委托任务，开展"金属薄板典型零件的爆炸成形理论"研究，为导弹零件爆炸加工提供理论和工艺。针对爆炸成形方向，力学所组建了爆炸载荷、材料性能与爆炸成形规律等研究组，对爆炸成形过程中水中激波运动和材料的加速、减速、再加速运动进行了细致的测量和分析，用数值计算和近似分析的方法解释了实验现象。经过系统的研究与探索，1962 年郑哲敏提出爆炸成形几何相似律与能量准则，完成了机理研究，为爆炸成形模具设计提供了依据。还研究成功无模具自由成形、惯性模具、惯性压边等新的工艺方法。在该理论和方法指导下，可以用实验室中的小型实验预测大型工件的爆炸加工条件和效果。钱学森对这项研究工作十分满意，将其命名为一门新的技术科学——爆炸力学。其间，形成的研究报告有：郑哲敏的《水击波入射于平板时空化的形成》(1962)、《爆炸

---

① 谈庆明：《郑哲敏》，载《科学家传记大辞典》编辑组：《中国现代科学家传记》(第三集)，科学出版社 1992 年版，第 888—896 页。

② 郑哲敏：《力学研究所访谈》，载胡亚东等：《中关村科学城的兴起(1953—1966)》，湖南教育出版社 2009 年版，第 115 页。

成形模型律》(1962),杨振声、谈庆明、刘小萍、刘良吉的《球壳爆炸成形机制的初步探讨》(1963),郑哲敏、孙同坤、孙国芳的《球壳的变形计算和能量准则》(1963),范良藻、孟珊的《爆炸成形的成形过程试验研究》等。1964 年,他们在全国爆炸成形学术会议上做了交流。105 任务完成以后,他们将爆炸成形研究成果整理成书,1965 年完成初稿。1969 年出版专书《高能成形》,[①]1981 年又出版修订版《爆炸加工》。[②]这两本书的出版是我国爆炸成形研究走向成熟的标志,这项技术在工业领域的扩散和推广,带动了我国爆炸加工技术的迅速发展。结合国家重大任务需求,通过具体任务带动,开辟新的研究方向或建立新的学科理论,爆炸力学是一个经典例子。它的原创和发展,直接推动了爆炸成形新工艺在中国的建立和发展,被誉为贯彻技术科学思想并取得重大成果的成功范例。

定向爆破筑坝是一门新兴的科学技术,当时国内外均缺乏经验,也没有成熟的理论指导。1960 年 2 月,力学所参加了广东韶关南水电站定向爆破筑坝工程的设计、施工和观测工作。韶关南水电站大坝原拟做拱坝,但因缺乏材料而停工。坝区两岸山势很高,右岸山峰雄厚,采用定向爆破筑坝不但可以就地取材,而且节约人力,缩短工期。1960 年 3 月底至 8 月中旬,力学所爆破组与水利科学院、广东水电部门进行了大量的爆破试验,还协助广东水电勘测设计院完成了定向爆破筑坝的设计工作。为了保证工程安全可靠、万无一失,爆破组在现场工地进行了 150 多次爆破试验,反复验证方案的可靠性,以保证工程顺利进行。1960 年 12 月 25 日,南水电站爆破成功,取得了满意的结果。坝体高度 57 米(设计高度 65 米),坝型与设计基本相符,上、下游边坡均为 1:3,爆破用药量 1 377 吨,土方量 107 万方。坝体密度很大,岩石块度大小也基本符合工程要求。此外,力学所还负责现场应力、应变和速度分布测量任务,为我国首次定向爆破筑坝作出了重要贡献。[③]

“平地定向爆破筑山”任务,是从战略角度出发提出来的课题。1960 年代初期,中苏交恶,双边关系日趋紧张,随时都有爆发大规模战争的危险。为了贯彻毛泽东主席积极防御的军事思想,聂荣臻副总理找到郭永怀,对他说:“我想在苏军可能的通道上预埋炸药,俟其进攻,瞬间堆起几座大山,以遏制其进攻速度。今天请你来,主要是向你请教,我的想法在技术上的可能性如何?”郭永怀思考片刻后,答道:“爆破堆山在技术上是可能的。”[④]他们经过研究商量,决定在平地上事先填埋

① 《高能成形》编写小组:《高能成形》,国防工业出版社 1969 年版。

② 郑哲敏、杨振声等:《爆炸加工》,国防工业出版社 1981 年版。

③ 杨丫男:《中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作(1956—1966 年)》,中国科学技术大学硕士学位论文,2009 年,第 28 页。

④ 谈庆明:《爆破堆山在技术上是可能的》,载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》,中国科学院力学研究所,2009 年,第 77—78 页。

炸药,如果敌军入侵,就引燃炸药,堆出一座山以达到阻止敌军进攻的目的。这项任务的研究是爆破研究领域最为困难的课题之一。

1965年6月,国防科委下达"平地定向爆破筑山"任务(代号2040任务),由力学所和工程兵三所协作完成,力学所负责技术工作,工程兵三所负责野外实验的组织工作,郭永怀担任总顾问。这个课题历时4年,到1968年全部结束,最终解决了平地定向抛掷爆破的难题。为了探索平地定向爆破堆山在技术上的可能性,并寻求最为理想的爆破参数,从而使用较少的炸药量达到较大的抛距和较好的堆积效果,力学所进行了80多次爆破试验,共耗费炸药40.7吨,揭示出临空面是影响抛掷方向的主要因素。[①]谈庆明等人提出了多排群药包延期爆破方案,只要合理设计每排的布药面和布药律,便可以充分利用前排爆破所形成的临空面改善后排爆破的抛掷方向,从而得到较大的抛距,取得比较理想的定向抛掷效果。在大量模型试验的基础上,他们通过比较严格的量纲分析,给出了平均抛掷距离与单位体积土体的耗药量之间的关系。最后,进行了一次中等规模的现场试验,验证了他们提出的方案和定量关系。这项研究课题的主要结论有两条:第一,证实了郭永怀最初的估计,即爆破堆山在技术上是可能的;第二,在经济上是不现实的,因为要达到堆山的要求,单位土体耗药量要超过4 kg/m^3(一般爆破不超过1 kg/m^3)。[②]后来,中苏之间没有爆发大规模战争,这个设想也就被束之高阁。不过,这项课题所取得的许多成果,包括建立新的概念,为以后在爆破理论与实践方面的发展奠定了基础。

1966年5月,在科学院的组织和领导下,力学所承担了3项支援"大三线"西南铁路建设的课题,包括导致快速掘进中的爆破技术、定向爆破技术在路堑建筑中的应用以及高锰钢道岔表面爆炸预硬化研究等。力学所圆满地完成了这些爆破技术工作,得到西南铁路建设工地指挥部的通令嘉奖。

在定向爆破方面,力学所结合具体的工程任务开展了较为系统的研究和试验,研究结果用于实际工程的建设,收到了预期效果。

力学所在爆炸力学方面的工作起始于钱学森的倡导,并得到郭永怀的支持和指导,郑哲敏具体负责这方面的工作。郭永怀对爆炸力学具有很深的学术造诣,十分重视爆破问题的研究,认为我国国土整治的工作量很大,使用炸药既便宜又方便,主张在力学所开展爆破研究。"大跃进"运动开始以后,力学所在四室设立爆破课题组,开展定向爆破筑坝等研究工作,由郭永怀主管。在爆破课题开展初期,由

① 杨丫男:《中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作(1956—1966年)》,中国科学技术大学硕士学位论文,2009年,第40页。

② 谈庆明:《爆破堆山在技术上是可能的》,载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》,中国科学院力学研究所,2009年,第77—78页。

于难度大，野外工作条件异常艰苦，许多研究人员产生了畏难情绪，甚至形象地说："大爆破是黑压压的森林，进去就出不来了。"有些研究人员比较盲目，致使工作长期毫无进展。在这种情况下，郭永怀一方面要求大家踏踏实实地学习一本书，另一方面鼓励大家深入实践。他深知爆破研究的难度之大，爆破过程极其复杂，涵盖快速化学反应的轰爆、冲击波的传播、介质的高速变形和破坏，而岩石和土壤的性质又非常复杂，每个环节都涉及力学中的难题。终于有一天，他发话把去工地的研究人员召回来，并告诉他们要做研究必须先要打好理论基础，并指定苏联学者写的《轰爆物理学》一书，要求他们把这本书读懂了之后再去做研究。①他还多次参加爆破组的学术讨论，根据我国多山的特点，教育大家要重视爆破对国民经济建设的重要作用。②

总之，在郭永怀的指导和组织下，力学所在这段时间里开展了定向爆破和爆炸成形研究，对爆破工程进行深入的理论分析和试验研究，在爆炸成形机理研究方面取得了原创性成果，建立了爆炸力学的学科理论，对我国爆破工程和爆炸加工技术的建立和发展起到了十分重要的作用。可以说，郭永怀的精心指导是力学所在爆炸力学领域取得突出成绩的重要原因之一。此外，在郭永怀等人倡议下，1960 年代初期我国还制定了第一个全国性爆炸力学发展规划。

5.3　其他新兴学科

除了上述学科，力学所还刻意培育和支持电磁流体力学、化学流体力学等新兴学科。

电磁流体力学是流体力学与电动力学之间的交叉学科。1950 年代末，电磁流体力学和等离子体动力学的研究在国际上得到日益广泛的重视，许多流体力学家进入电磁流体力学领域。钱学森、郭永怀敏锐地觉察到这个发展动向，1957 年钱学森在"论技术科学"一文中将电磁流体力学列为技术科学领域的新兴发展方向。1961 年初，力学所在任务调整时成立第六研究室，负责开展电磁流体力学研究，郭永怀任室主任，徐复任副主任。关于电磁流体力学研究的目的，郭永怀认为：第一，人类将来势必要从受控热核反应中获得大量能源，而研究高温等离子体、磁流体理论是研究受控热核反应的基础；第二，航天器返回大气层时，会碰到气体电离及磁流体力学问题；第三，可以通过磁流体发电，直接获得能源。这门新兴学科属于长远探索性质的技术科学。

为了培育人才，郭永怀组织电磁流体力学讨论班，每周举行一次学术讨论会，

---

① 谈庆明：《爆破堆山在技术上是可能的》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009 年，第 77—78 页。

② 郑哲敏：《郭永怀生平事迹介绍》，载郑哲敏主编：《郭永怀先生诞辰九十周年纪念文集》，气象出版社 1999 年版，第 3 页。

1961—1965年共举行了30余次，开始是钱学森主持，后来由郭永怀负责。郭永怀的学术见解很深刻，让人受益匪浅。例如，他曾提出磁流体发电原理和原子能技术结合起来的创造性设想。①他要求年轻研究人员大量阅读实验论文，根据实验现象进行选题，开展理论研究。他给课题组选定了三个研究方向：磁流体和等离子体稳定性（徐复、康寿万负责）、磁流体直接发电（邱励俭负责）和同位素的电磁离心分离（胡文瑞负责）。他还指导研究生从事这些新方向的理论与实验研究。这三个方向的研究内容，都具有极高的前瞻性，涵盖当时国际上磁流体力学发展的主流方向。然而，许多人看不出它们的重要价值，邱励俭回忆说："当时，我却不以为然，我认为我是搞裂变核能的，踌躇满志，一心想搞原子反应堆，很不安心搞磁流体发电。郭永怀先生看到这些，语重心长地对我说，你正好利用你的专长，想办法去利用裂变反应堆中的核废料来增加发电通道中的导电率，直流发电不通用，是否可以分交流电？你要看到聚变能正是我们长远的方向。通过现在的工作，熟悉磁流体力学，也可以为将来搞聚变打好基础。……我逐渐安心下来从事磁流体发电的研究。"②更有甚者，有些所领导打算取消这方面的研究课题，郭永怀则坚决要求保留这些课题。在一次力学所党委召开的关于研究课题调整的会议上，业务处根据科学院文件要求提出一份调整紧缩课题的清单，其中将郭永怀直接负责的一个课题以"无明确应用目标"为由，建议取消。郭永怀静静地听着，直到最后要定案时才缓缓地站起来说："我一直不说，不是我不想说，而是不好说，现在我不得不说了。这个题目不能撤，这关系到同位素分离的关键技术。"最后，他加重语气地说："这是为穷人也能造原子弹！"③1962年，除了有专门从事磁流体力学稳定性、磁流体力学管道流等理论工作的人员，六室还成立了磁流体力学直接发电和电磁分离两个实验组。④与此相呼应，陆士嘉在北京航空学院开设了磁流体力学专题讲座。

在六室，郭永怀指导徐复进行等离子体稳定性的研究。这个问题是1950年代起步的可控热核反应中的关键问题之一，提出这个课题非常有前瞻性。他还指导邱励俭研究磁流体发电，这是一个流体力学和电动力学交叉的研究课题。⑤其目标

---

① 郑哲敏：《郭永怀生平事迹介绍》，载郑哲敏主编：《郭永怀先生诞辰九十周年纪念文集》，气象出版社1999年版，第3页。

② 邱励俭：《能否提前应用聚变能？》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009年，第191页。

③ 眭璞如：《点滴回忆　深切怀念》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009年，第7—11页。

④ 唐福林：《郭永怀所长和磁流体力学》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009年，第84—86页。

⑤ 李毓昌：《高瞻远瞩，教泽长存——我对郭永怀先生学术思想的领会》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009年，第65—72页。

是要将核聚变反应堆产生的能量直接转换成电能。六室成立之前，吴承康曾带胡文瑞等人研究磁流体力学直接发电问题。后来，郭永怀中止了这项研究，他认为普通流体的电导率太低，发电的效率很低。如果受控热核反应成功，这种发电方式会更有价值。他给胡文瑞指定的第一个研究课题是磁流体力学管道流，这个问题是1950年代末1960年代初十分活跃的研究课题。①后来，胡文瑞长期从事流体力学和磁流体力学研究，成为我国在这一领域的学术带头人。

电磁离心分离器，是郭永怀在指导电磁流体力学研究室的工作过程中提出的一个技术创新思想。1963年，他想到利用电磁场加速等离子体的旋转来代替气体的旋转，提出了"电磁离心分离器"这个新概念。1963年，成立课题组，目标是研制一种新型的工业设备。到1965年，进行了一些理论工作和定性实验，实验中观察到快速旋转的等离子体，结果令人鼓舞。然而，全室研究人员在1965年都去农村参加"四清"运动了。1966年5月，"文革"又开始了，课题研究被搁置起来。大约在1970年得到恢复，继续研究，到1974年结束。②

第六节　深度参与国防尖端技术任务

1960年代中期以后，国际国内形势都发生了显著变化。为应对这些变化，国家上马了许多国防尖端技术项目，科学院成为一些重点项目型号研制的重要承担者或参与者。这使力学所不得不改变1960年代初期确立的以探路性研究工作为主的工作定位，再次深度参与国防尖端技术任务。根据国家的安排，力学所先后承担或参与了地对超低空导弹研制（541任务）、导弹再入物理现象研究（6405工程）、核爆炸理论计算（21号任务）、东方红人造卫星（651任务）等国防尖端技术任务。

6.1　地对超低空导弹研制(541任务)

541任务源于我国帮助越南军民抗击美国侵略者、支援世界反霸斗争的需要。1965年春，科学院张劲夫跟几个研究所的负责人商量说：中央领导同志谈起越南反美斗争中对付超低空飞机很困难，刘少奇提出能否研制一种单兵使用对付超低空飞行敌机的导弹，要科学院想想点子。③会后，郭永怀找到眭璞如，对他说："越南

① 胡文瑞：MHD Flow in a Homopolar Device with Annular Wire Electrodes.，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009年，第177页。

② 徐复：《郭永怀先生的一个技术创新思想》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009年，第79—83页。

③ 眭璞如：《541战术导弹的研制》，载科学时报社编：《请历史记住他们——中国科学家与"两弹一星"》，暨南大学出版社1999年版，第223—229页。

战场上对付超低空飞行的超音速飞机，用三七高炮效果不好，看看是否可以研制一种超小型的单兵使用的导弹，你去查一下‘红眼睛’的资料，认真考虑一下。”“红眼睛”(Red Eye)是一种由美国研制出来的超小型地空导弹，当时科研人员可以参考的资料仅有一张简单的照片，其他方面的情况一无所有。好在眭璞如对这方面的情况有些了解，他结合郭永怀给他的资料进行分析计算，并对材料、结构、推进剂、传感器、控制、发射技术、制导技术等问题做了一些设想，然后向郭永怀汇报。经过几次分析讨论，郭永怀说:“只要发挥科学院的综合优势，组织得好，我们可以搞!”还笑着说:“要向院里汇报，我们也对世界革命做点贡献!”随后，科学院立即向中央专委汇报了这个点子，获得批准。

5 月 4 日上午，在五机部机械科学研究院召开专门讨论会，科学院新技术局局长谷羽、自动化所副所长吕强和力学所副所长郭永怀等出席会议。经过会议讨论，大家一致同意向中央专委报告把研制单兵操作背负发射的超小型地空导弹列入武器研制计划。在议及给任务取一个代号时，郭永怀说:“这是五机部和零四单位(科学院的代号)第一次合作的大任务，今天又是‘五四’青年节，我们就取个‘541’吧!”[①]当月，中央专委第十二次会议决定由科学院负责在短期内研制出地对超低空导弹(代号 541)，以对付美国飞机的低空轰炸。

科学院对 541 任务非常重视，把它列为全院头号任务，动员组织了 27 个所、厂，1 300 多名科研人员参加研制任务。主要有科学院力学所、自动化所、科仪厂、沈阳金属所、大连化学物理所、化学所、长春应用化学所、长春光机所、上海技术物理所、兰州化学物理所等研究所和工厂，还有五机部的一部分单位和国防科委 20 基地。在国防工业部门协助下，科学院进行调查研究和设计方案论证。541 任务涉及面广、技术复杂，需要解决的关键技术问题很多。为了保证参与协作的各单位协调一致，1965 年 7 月裴丽生主持召开第一次 541 任务领导小组及总体设计师组会议。领导小组由科学院新技术局及有关所、厂负责人共 11 人组成，杨刚毅、吕强分别任正副组长。总设计师组由力学所、大连化学物理所、光机所、自动化所、化学所、五机部四所和三所的研究人员组成，郭永怀任组长，林鸿荪、屠善澄、张松年任副组长。541 任务办公室设在力学所。由于郭永怀的主要精力在二机部九院，总设计师的责任实际上由林鸿荪肩负。[②]

541 任务的第一步计划是由力学所和自动化所在 1966 年底提供试用的样弹，

① 眭璞如:《点滴回忆　深切怀念》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009 年，第 7—11 页。

② 何敦生、陈良:《林鸿荪》，载中国科学技术协会编:《中国科学技术专家传略》(工程技术编，力学卷 2)，福建教育出版社 1997 年版，第189—203 页。

因此必须在1965年底之前完成技术设计。作为主要的联合攻关单位之一，力学所承担弹体总体设计、发动机和发射系统研制、空气动力及强度的分析和试验任务。鉴于怀柔分部对火箭发动机已有多年的研究积累，科学院决定将其作为541任务的一个重要基地，承担发动机和发射系统的研制，实际上成为541任务的总体部。

根据541任务研制需求，8月力学所在怀柔分部成立201、202、203和204四个研究室，对原来承担液氢液氧火箭发动机研制的三个研究室的人员进行重新调整，组成总体室(201室)和发动机室(202室)，力学所一部的一批研究人员也被抽调到怀柔分部，组成结构室(203室)和气动室(204室)。201—204室分别负责弹体总体、发动机、结构及发射装置、气动力设计等方面的研制工作。据参与其事的何鼓生回忆："201室负责总体设计、飞行试验，由陈显余、杨叔楹任副主任，郭桂林任支部书记；202室负责发动机设计、地面试验、点火器研制，氢氧发动机试验研究仍继续进行，由陈良、成器任副主任，姚汉臣任支部书记；203室负责结构分析和试验、发射系统研制，由眭璞如任主任，柳惠敏任支部书记；204室负责气动分析和风洞试验研究，由汤宁任副主任。"怀柔分部由马金祥任主任兼总支书记，林鸿荪、杨国斌、张金禄、何鼓生为副主任。分部的技术辅助与行政后勤系统配备都很齐全，全部人员达到400多人。①研制机构成立之后，力学所许多人员立即投入到任务研制，刘正常回忆说："1965年秋季，12室约四分之一的人员被调到力学所分部开展541导弹的研制工作，我也随着离开了12研究室"。②另据眭璞如回忆："党委一声令下，10天里全部搬完并投入工作。我当时是203室的负责人，全室50多位同志全部出动，从家具到仪器设备都搬完并安装完毕。在这么短的时间里还自己动手铺水磨石地面，粉刷墙，挖坑浇注大设备的地基，把一个500多平方米的废仓库改造成一个相当好的力学实验室。最困难的是一个20多吨重的试验平台，从北京拉到分部后找不到安装队，全室人人出动硬是用土办法搬进试验室安装好了。"③

由于科学院统一组织指挥，计划协调周密，全院二十几个单位团结协作，加上院外协作单位的大力配合，研制工作进展神速。当时的工作状态和效率，何鼓生回忆说："发动机试车前筒体要经过沈阳金属所加工焊接，然后送大连化物所涂绝热层，再浇注固体推进剂(浇注后要在规定的温度下固化七八小时)，力学所派专人押运回怀柔；喷管由沈阳金属所加工后送上海硅酸盐所喷涂特种耐高温防热层，再送

① 何鼓生:《回顾在怀柔试验基地的十年》,http://lxyd.imech.ac.cn/info/detail.asp?infono=13797。

② 刘正常:《庆贺与回忆》,载李和娣主编:《固体力学进展及应用——庆贺李敏华院士90华诞文集》,科学出版社2007年版,第346—350页。

③ 眭璞如:《541战术导弹的研制》,载科学时报社编:《请历史记住他们——中国科学家与"两弹一星"》,暨南大学出版社1999年版,第223—229页。

北京怀柔，力学所接到两个主要部件后，配上自己研制的点火器及其他零部件进行组装检验合格后进行试车，202 室当天就把试验结果整理出来提交有关人员分析研究，这样的周期一般只用两个星期，最快只用七天，现在回忆起来，各兄弟单位之间互相协作之好、工作进展之快，真是感到不可想象！仅用了三个月左右时间，经过 300 多发地面试车，就研制出试验弹用的发动机，其性能指标达到预定要求。与此同时，发射装置经过 203 室同志的反复试验，逐个解决了技术关键，按时提供发射试验。为了用试验弹考验发射装置的可靠性、检验发动机的工作特性、检验弹体结构的可靠性，分部领导以 201 室为主，并从各部门抽调力量组成突击队，只用了四十天的时间就在怀柔基地建成了一个小型发射试验场。试验场的外弹道光测设备、遥测设备、统一时标装置、发射程序和同步装置大部分是由分部科研人员完成的。特别是统一时标装置，当时得到了 20 基地的重视，多次派人来分部学习，不仅要走了技术资料，还要求我们为他们复制了一套装置。可见这套设备有其独到之处。”①

自 1965 年秋开始，科研人员攻克了一个个技术难关，以半年多的时间取得了正常情况下三年也难以完成的研制任务，从方案到设计，从加工到试验，几乎完成了研制的主要流程。204 室的气动力计算是很难的课题，何芳赏领导的计算组把全室的计算任务都接了下来。他们刚接手 541 任务时，进行导弹气动计算的手段相当原始，日常的计算工具主要是计算尺，计算室仅有几台齿轮式电动计算机。他们一开始用手算，但这种方法繁杂、笨拙，速度又很慢，他们试着用国产的晶体管 104 电子计算机编程计算。这让 204 室从笨拙、艰苦的重复手工计算中解放出来，全体气动专业人员经过无数次艰难的摸索调试，攻克了导弹气动布局中急待解决的一系列问题。计算机计算的结果与手算结果基本吻合，还纠正了手算的误差，使数据更为精确。后来，由于 541 任务终止，这个课题转到了沈阳的一个研究所。值得一提的是，这个课题的研究成果还为我国研制洲际导弹提供了成功的经验。

到 1965 年 12 月，也就是在不到半年的时间里，超低空地空导弹试验弹近乎奇迹般地研制出来了，并在北京郊区进行了第一次发射试验。六次发射，检验了发射系统的可靠性、发动机系统的工作特征、弹体的气动稳定性和结构的可靠性，结果均比较满意，达到了预期目标。当时，人们将这种速度称为“541 速度”。在试验弹成功发射的基础上，紧接着进行了一系列的准备工作。1966 年 3 月 15 日至 4 月 15 日，“541-S-Ⅰ”型试验弹在 20 基地靶场进行了“541-Ⅰ”型弹的第一阶段飞行试验，10 发有 6 发成功。7—8 月，又进行了第二次飞行试验。这两次飞行试验全面

① 何鼓生：《回顾在怀柔试验基地的十年》，http://lxyd.imech.ac.cn/info/detail.asp?infono=13797。

检验了试验弹的设计方案，取得了重大进展。他们根据试验结果做了一些改进后，9—10月又在怀柔基地先后发射了5发“541-Ⅰ”型弹，为改进设计、研制Ⅱ型弹提供了重要依据。通过多次飞行试验的检验，肯定了发动机、发射装置以及气动力、结构设计方案的可行性。①541任务的技术难度非常高，当时国外研制成功同类型的导弹约需10年左右的时间，而国内仅用一年三个月就取得了这么大的进展，再次证明了力学所和其他参研机构所具有的强大技术攻关能力。怀柔分部用一年多的时间解决了弹体和气动力问题，下一步的工作重心将转向制导和战斗部的改进。因为，Ⅰ型弹存在重量、体积偏大的缺点，必须进行改进，这就是Ⅱ型弹的研制目标。正当研制人员准备转入下一阶段工作的时候，1966年5月爆发的“文革”给研制工作造成了巨大的冲击，甚至无法进行下去。1967年8月，上级部门决定停止541任务的研制，1967年底研制工作全部终止。

总体上看，541任务在比较短的时间内在五大关键技术问题上取得了重要突破：一是选定了一种高比冲而又比较成熟的固体推进剂，经数百次热试车试验，证明工艺可靠，性能参数完全达到设计指标；二是解决了发动机壳体加工的一系列技术难关，保证了这种高性能固体火箭发动机的工作可靠性，并达到预定的设计要求；三是气动力理论分析与飞行试验实测数据相当一致，为弹道计算与精确可靠的制导方案的确定提供了重要依据；四是初步研制成功超小型红外导引头，填补了国内空白；五是发射系统设计和二次发射方案达到预定要求。②按照国防科委的要求，有关红外制导部分的技术资料全部移交给七机部三院，其余技术资料移交给三机部六院五所。后来，三机部和七机部的有关单位在此基础上研制成功地对超低空导弹“红缨5号”。

541任务为我国地对超低空导弹的研制作出了实实在在的贡献，特别是培养了一大批优秀的科研人才，他们后来分布到空气动力、导弹、卫星等部门，不少人成为学术带头人和业务骨干。另外，还有大规模协同作战、攻克技术难关完成重大任务的动人情景，以及从中磨炼出来的团队合作、苦干实干、勇闯难关、革新创造、精益求精和无私奉献的精神，诚如何鼓生所言：“经过对以往十年的回顾，我的心情久久不能平静。眼前不断浮现出一幕幕当年激动人心的场面，浮现出一个个熟悉而亲切友好的面孔。确实，已逝去的那十年，对我的人生感受来说太深刻了。在那片热土上，我寄予了很多的希望，付出了很多的热情。其实，又何止我是这样呢？分部400多名战友、分部外那些为着同一目标而努力拼搏的人们，谁人又不是这样？相信每一个分部人的心情，都有着强烈的共鸣。”③

①② 何鼓生、陈良：《林鸿荪》，载中国科学技术协会编：《中国科学技术专家传略》（工程技术编，力学卷2），福建教育出版社1997年版，第189—203页。

③ 何鼓生：《回顾在怀柔试验基地的十年》，http://lxyd.imech.ac.cn/info/detail.asp?infono=13797。

6.2 再入物理现象研究(640—5任务)

弹道导弹再入地球大气层时,会产生电波与弹体作用、电波与等离子体相互作用、高温气体电离和光辐射等物理现象。"再入物理现象研究"主要是解决导弹再入大气层的识别问题,为拦截入侵导弹提供预警报,属于国防科委反导弹防御计划(640工程)的五大专题之一。

反导弹防御问题自1950年代末被提出以来,一直是个世界性难题。我国在1960年代中期上马反导弹防御项目既缺乏充分的科学论证,也不具备经济、科技与工业条件。之所以如此仓促地上马这个项目,直接原因就是毛泽东主席的指示。1964年2月6日,毛泽东在与竺可桢、李四光和钱学森谈话过程中谈到反导弹问题时说:"有矛必有盾,搞少数人有饭吃,专门研究这个问题。五年不行十年,十年不行十五年,总要搞出来的。"①这句话的潜台词就是,直接做出了开展反导防御问题研究的决策。

为了迅速落实毛主席的指示,2月28日国防科委召开反导弹防御系统会议,研究任务分工问题。经过分析研究,会议确定整个工程包括一个防区建设方案和五个子系统,防区方案就是640防区,五个子系统分别是:反导弹导弹系统(640—1),也称反击系统;超级大炮反导弹项目(640—2);激光武器(640—3);预警雷达系统(640—4);导弹再入物理现象研究(640—5)。会议决定,科学院围绕导弹在飞行中所产生的物理现象开展基本理论研究,由秦力生秘书长抓总。会后,郭永怀根据三次专家会议讨论的意见,于4月向科学院党组提交报告《关于开展导弹再入物理现象研究意见》。6月,又拟定了632任务(后改为640—5工程)十年规划。1966年8月27日,中央专委第十三次会议下达反导弹防御体系的研究任务。科学院党组决定由力学所、物理所、电子所和地球物理所合作承担,10月正式下达640—5任务,由力学所总负责。

实际上,力学所在1965年7月就着手为承担640—5任务做准备。魏叔如回忆说:"我们第一次接触640—5任务是在1965年7月十一室的一次全体人员大会上,郭永怀副所长在会上风趣地宣布:'你们的方向任务问题已经解决了,除一部分参加541任务外,大部分人参加632。不过,你们先安心到农村搞'四清',你们正式参加632任务的时间是1966年1月1日零点开始。"实际上,魏叔如等人参加640—5任务比这要晚很多,他们一直到1966年7月才在农村结束"四清",回到力

① 魏叔如:《郭永怀与我国导弹弹头再入气动物理研究》,载郑哲敏主编:《郭永怀先生诞辰九十周年纪念文集》,气象出版社1999年版,第33—35页。

学所。[①]为了让大家返所后能顺利地开展工作，在这将近一年的时间里，郭永怀调动了当时所能调动的几乎全部人力(除了他本人，还将他的助手和未去农村的研究生动员起来)，在业务上做了深入细致的准备。虽然参加“四清”的人员回到力学所时“文革”又开始了，郭永怀还是想方设法使研究工作迅速启动和运作起来。

1967 年 4 月，640—5 工程总体组成立，郭永怀任组长。为了适应 640—5 任务的要求，力学所重新调整了科研人员队伍，从十一室抽调激波风洞组、电弧加热器组、高速气流传热组以及四室高温气体组共 60 多名研究人员参加 640—5 任务(后来，激波风洞组和高温气体组又从中调出)。[②]其间，在试验设备方面，除了原有的激波管、电弧风洞设备为 640—5 任务服务外，物理所 1966 年建成的 1 号弹道靶移交给力学所使用。1967 年，力学所开始筹建 II 号弹道靶(发射速度可达每秒 5.2 千米)，建成后进行了弹头硬回收方案的模拟试验工作，为“三线”基地大型弹道靶的设计提供了经验。在理论研究方面，高速气流组的研究人员结合任务，开展了飞行器周围低空无粘流场和高空粘性流场电子分布的计算工作，为等离子体鞘套雷达发射面的设计提供了理论基础。[③]

1967 年 10 月 25 日，毛泽东主席批示对国防科研体制进行调整。1968 年初，力学所从事 640—5 工程的研究人员和设备按照体制调整要求，划归国防科委建制，七机部以此为基础组建了目标识别研究所(207 所)。1970 年 5 月，207 所正式成立，640—5 任务从此脱离科学院，进入七机部建制。其间，力学所对再入物理现象开展的研究工作，为我国后来再入航天器的气动力、气动热和气动物理现象研究的突破奠定了一定的基础，尤其是郭永怀提出的许多新颖而重要的见解和设想，后来的发展事实充分证明了它们的前瞻性、科学性和重要性。

6.3　核爆炸相关的理论研究(21 号任务)与其他工作

由于在爆炸力学领域的突出成绩，国防科委安排力学所参与我国核爆炸方面的研究任务。1963 年 5 月，力学所接受国防科委 21 所的委托，承担“冲击波测压计力学性能的标定”任务(代号 21-6112)。这项任务与地下核爆炸威力的估算和预报问题有关，要求在短期内测试一批仪器的力学性能，举行动、静态标定，以便在我国首次核爆炸试验中应用。参与现场压力测量的有科学院力学所、声学所、自动化所、地球物理所等单位。应任务之急需，力学所迅速组建了 21 号任务组。郑哲

①② 魏叔如：《郭永怀与我国导弹弹头再入气动物理研究》，载郑哲敏主编：《郭永怀先生诞辰九十周年纪念文集》，气象出版社 1999 年版，第 33—35 页。

③ 杨丫男：《中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作(1956—1966 年)》，中国科学技术大学硕士学位论文，2009 年，第 37 页。

敏领导任务组，在自行研制的激波管测试系统上对核爆现场需要用到的测压计进行标定，按时完成了任务。这项任务的圆满完成，为 1964 年 10 月 16 日我国第一颗原子弹按计划成功试爆提供了保障。

1964 年 6 月，21 所又委托科学院承担“地下核爆炸近似计算方案”（代号 21—9）任务。科学院决定由力学所和计算所共同承担。两所各自成立了专门的任务组，并确定了工作分工：力学所承担地下核爆炸力学效应近似计算和数值模拟的力学模型研究，计算所承担数值计算的计算方法研究、程序设计以及利用该所计算机进行计算。最后，力学所再对计算结果进行分析。①

力学所的郑哲敏和解伯民经过研究，于 1964 年 10 月完成研究报告《关于地下核爆炸计算模型的一个建议》，提出了一种新的力学模型——流体弹塑性模型。接着，力学所与计算所合作运用这个方法进行具体的数值模拟，于 1966 年 3 月完成地下核爆炸力学效应的精确计算。他们成功处理了高速加载和高速变形下岩石的流动与变形问题，给出了介质在高压状态下呈现流体特性而在低压状态下又呈现固体性质的统一本构关系，建立了描述岩体性质的“饱和模型”和“迟滞模型”，可以较好地模拟地下核爆炸的力学效应。这项研究成果应用于我国首次地下核爆炸效应的测试和分析，对各种仪器的布置提供了量程预报，并确定了岩石在各种状态下的合理模型。后来，力学所还参与了我国第二、三次地下核试验和第三、四次地面核试验。其间，力学所提出力学效应试验方案，分析整理力学效应的试验资料，结合爆炸后开挖时的现场考察，给出了岩石中应力波传播规律。结果证明，试验的现场实测与流体弹塑性模型的数值计算结果一致，预报与实测完全符合，所取得的地下核爆炸试验资料及理论研究成果被编入国防工程设计手册。这个模型是二战后爆炸力学领域的一项重要进展，后来获得了国内外同行的高度评价。②

1965—1967 年，力学所又承担 21 所委托的“空中爆炸波在地面发射压力实验研究”任务（代号 21—7）。力学所在怀柔分部建立爆炸场，进行了大量的化爆试验，测出 7 种爆高条件下空中爆炸球面波在地面的压力分布，向 21 所提供了完整、系统的数据和资料，解决了我国大气核试验爆炸威力当量换算的问题。

除了参与核爆炸有关的力学问题研究外，力学所研究人员还参与过国防部门委托的其他任务。1965 年，解伯民开始参与一项很有实际应用意义的研究任务，协助兵工部门进行穿甲几何相似律的模型试验。1967 年 6 月，力学所承担五机部的委托任务“装甲钢板非破坏性检验方法”。在郑哲敏的指导下，研究人员采用量

① 樊洪业：《中国科学院编年史（1949—1999）》，上海科技教育出版社 1999 年版，第 152 页。

② 中国力学学会：《中国力学会会史》，上海交通大学出版社 2008 年版，第 27 页。

纲分析方法提出几何相似准则，采用小靶模拟射击的非破坏性试验代替采用实弹射击的破坏性检验方法。这个试验方法不仅节约了大量材料、经费，而且为设计新型坦克、研制新型装甲提供了重要依据，在五机部获得了推广和应用。1968年12月，郑哲敏受到“审查”，被迫离开工作岗位。1970年代初，基于这个模型的数值模拟工作得到恢复，只是服务对象发生了变化。1971年从干校回来后，郑哲敏组织研究人员参加五机部组织的681任务会战组，负责研究穿甲、破甲机理。1972—1976年，郑哲敏与其他研究人员利用流体弹塑性理论，相继完成了“装甲钢抗弹性能非破坏性检验方法”、“特种弹对装甲破坏原理及新型装甲抗弹性能考核方法”等研究工作，解决了穿甲相似律、金属聚能射流稳定性、破甲模型律、金属装甲及复合装甲的穿破甲机制等一系列问题。①

在这段时间里，力学所结合国防建设需要，通过承担具体任务，解决了工程技术中许多关键技术难题，取得了十分突出的成绩，为我国核武器、核爆防护以及常规武器的发展作出了重要贡献，还促进了爆炸力学及相关学科的知识积累与理论创新。

第七节　高超声速讨论班与星际航行座谈会

1960年代初，我国导弹技术取得了显著进步。钱学森认为，不久的将来即可开展人造地球卫星等空间飞行器的研制工作。出于长远考虑，他开始着手筹划一些先期准备工作。根据飞行器和空间技术发展的需要，钱学森、郭永怀等组织北京地区空气动力学及相关领域的研究人员，举办星际航行座谈会、高超声速讨论班等学术活动，并开展前瞻性的理论探索和研究工作。

7.1　高超声速讨论班

超高速飞行器在研发过程中会遇到两大难题，一个是超高速气动力学问题，另一个是超高温气动加热和防热问题。它们是超高速飞行气动力、气动热学科发展的基础，然而1950年代后期在我国尚属空白。郭永怀非常重视高超声速空气动力学的发展。1957年2月，他在第一次全国力学学术报告会上做了“现代空气动力学问题”的学术报告，指出空气动力学领域今后一个时期的重点方向是高超声速空气动力学。

---

① 谈庆明：《郑哲敏》，载《科学家传记大辞典》编辑组：《中国现代科学家传记》（第三集），科学出版社1992年版，第888—896页。

为促进我国高超声速空气动力学的发展，适应未来航空航天事业发展的需要，1961 年，钱学森、郭永怀组织北京地区老、中、青空气动力学工作者，成立了高超声速讨论班，参加者主要有来自力学所、北大、清华、北航等单位的力学研究人员。该班“不是一般的讨论班，而是在了解学科最新发展后的高层次上所进行的探索”，讨论和研究的问题与当时国际前沿水平接轨，对我国高速、超高速飞行器研制具有重要的指导意义。

由于发起人高瞻远瞩的视野和出色的组织才能，讨论班的学术活动开展得有色有声，达到了当时的世界先进水平。学术报告内容由钱学森、郭永怀亲自确定，瞄准当时理论与工程技术的前沿领域，让参加者受益颇多，很快就掌握了高超声速领域的最新进展和成果。除了介绍国外进展，讨论班还激发出许多探索性的研究课题。郭永怀在讨论班上提出了许多重要学术思想和见解，随后立即安排力学所研究人员着手研究，取得了重要研究成果。例如，他提出在高超声速流动中当来流马赫数超过 5 以后，介质的动能足以激发分子内部自由度。因此必须考虑分子振动离解、化学反应等效应的影响；在计算高超声速无粘性流体绕钝体的流动时，最关心的是物面上的物理量，因此应正确分析激波层中物面附近（而不是激波附近）物理量的数量级关系。1961 年，他指出对于钝体绕流，在一定条件下，后身流场中会产生“悬挂”激波。他还提出小钝锥熵层分析方法，解释了压力过度膨胀和回升现象。还为寻求确定激波形状的简易方法进行了探索。1964 年，他提出云粒子侵蚀课题。后来的发展证明，云粒子侵蚀是实现全天候攻击与突防以及反弹道导弹必须解决的关键技术问题之一。他还提出要研究电磁波和等离子体鞘套与尾迹中的流动之间的相互作用。①他特别注意飞行器再入时的高温环境，即所谓的“热障”问题。在国际上技术极度保密的情况下，郭永怀指导力学所研究人员开展这方面的研究，并支持吴承康用电弧风洞进行了上百次的烧蚀实验研究。在“文革”动乱年代，力学所继续与有关单位按照郭永怀的设想，进行烧蚀机理的理论和实验研究，终于摸索出有效的防热措施，为我国突破“热障”技术难关提供了理论基础，保证了返回式卫星和洲际导弹的试验成功。②可见，讨论班既传播新兴理论知识，又结合国家尖端技术任务开展有针对性的研究，推动了重大技术的突破和学科理论的积累。

讨论班起初由钱学森主持，后来改由郭永怀主持。讨论班每周举行一次讨论会，从 1961 年一直持续到 1965 年，共 30 余次。钱、郭二人总是风雨无阻，与大家一起报告学术动向与进展，讨论各种见解。讨论班上思想活跃，学术民主，颇有卡

---

① 李家春、李成智：《郭永怀》，载中国科学技术协会编：《中国科学技术专家传略》（工程技术编，力学卷1），中国科学技术出版社 1993 年版，第 62—76 页。

② 中国力学学会：《中国力学会史》，上海交通大学出版社 2008 年版，第 23 期。

门科班之风，对发展新兴学科、培育尖端技术人才产生了积极的促进和带动作用。郭永怀要求研究生张涵信、李家春参加高超声速讨论班，并安排张涵信在讨论班开班时第一个做报告。李家春回忆说："这个讨论班按照 CALTEC 的风格开展活动，学术民主，自由讨论，使我们及时了解国际上最前沿的知识，并逐步进入研究的角色。"①在讨论班上，郭永怀等还亲自为年轻研究人员讲授最新的空气动力学知识，让大家掌握必需的基础知识。并且，注意在科研实践中物色苗子，委以重任，着力培养，很快把他们带到学术前沿，一批学术带头人由此脱颖而出，成为攻坚团队的业务骨干。

7.2　星际航行座谈会

1961 年 4 月，苏联"东方号"载人飞船将宇航员加加林送入太空并安全返回地面，再度引起我国科技界和国防部门的关注和热议。为给我国开展航天科技活动做学术、人才上的储备，在钱学森、赵九章等科学家的发起下，1961 年上半年科学院组织举办"星际航行座谈会"，组织多学科、多种高新技术领域的高级专家，针对如何发展我国航天科技事业进行研讨，内容涉及运载工具、推进剂、通信、气动力学、燃烧与烧蚀、材料、地球物理及气象、生物空间实验、微重力影响等方方面面。每次由某一学科或领域的专家就自己的专业与星际航行相关的问题做专题报告，然后大家讨论，畅所欲言，各抒己见。

6 月 3 日，第一次座谈会举行，由科学院副院长裴丽生主持，科学院力学、电子、自动化、地球物理、生物物理、数学、金属等研究所以及上海机电设计院共 9 个单位 42 人参加。钱学森在会上做了"今天苏联及美国星际航行中的火箭动力及其展望"的中心报告。第二次座谈会上，赵九章主讲"地球高层大气及外层空间的几个问题"。郭永怀在第四次座谈会上做了"宇宙飞船的回地问题"的中心发言，对气动减速、气动加热、烧蚀防热、回地轨道设计等问题做了细致深入的分析，并提出利用举力面的设想。后来，他又做了"高超声速空气动力学与飞行器"的报告。另外，还有张翰英主讲的"卫星上的遥测和遥控"，吕保维主讲的"地面与高空火箭间的无线电波传播问题"，蔡翘主讲的"宇宙飞行的生物学研究方向的探讨"。1962 年 10 月，钱骥在第八次座谈会上做了"关于近地球轨道人造卫星的温度平衡及材料、轨道和无线电发射频率问题"的中心发言。有一次，空间医学专家陈辛一做关于空间生理学和生物学的报告。在讨论中，钱学森提出运载火箭振动对人体的影响是载

① 李家春：《遵循先生教诲，培养青年人才》，载《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》，中国科学院力学研究所，2009 年，第 42—44 页。

人航天必须研究的重要问题，其中应分析振动对人眼球的影响，从力学观点看，人的眼眶像是一个弹性支座，眼球就像弹性支座上的质量，它的共振频率是可以计算出来的。①

随着座谈会的影响不断扩大，还邀请国防部五院、国防科委、国家科委等单位的研究人员参加，人数发展到200多人。为促进座谈会学术活动的规范化，钱学森专门给科学院新技术局写信，就座谈会组织、学术报告选题、名词标准化等问题提出了许多建议，对学术活动的开展起到了很好的引导作用。②在三年中，共举办了12次座谈会，分别由裴丽生、钱学森、赵九章主持。新技术局将座谈会第1—4次、第6—8次中心发言的内容编成《星际航行座谈会资料汇编》，1965年1月由科学出版社出版。③另外，还编辑出版了《星际航行科技资料汇编》、《1957—1964年各国发射的人造卫星宇宙飞船宇宙火箭资料简录》等科技资料。座谈会交流了学术观点，活跃了学术思想，提出了许多有益的设想和建议，为我国开展人造卫星、载人航天科技活动在人才培养和知识储备上做了前期准备。

在座谈会的基础上，1963年2月科学院成立星际航行委员会，负责航天科技活动的组织与规划工作，由竺可桢、裴丽生、钱学森、赵九章、谷羽等组成，钱学森任主任委员。为了培育年轻人才，钱学森安排孔祥言等4人担任委员会的技术秘书。钱学森对“四人小组”严格十分要求，希望他们不仅要听，而且要积极思考，在讨论会上踊跃发言。孔祥言回忆说：“全国星际航行委员会，钱老是主任委员。委员会开会，与会的都是科学界的顶尖人物，像赵九章、竺可桢、谈家桢等。故第一次参加会，又是作为委员会秘书，我们几个谁也不敢发言。听杨（南生）副院长说，后来钱老问他，你们院里来的人是不是都这样？要积极发言。这是钱老唯一的一次批评我们。钱老对我们要求很高，希望尽快成才。”④

座谈会学术活动持续深入的开展，进一步激发了我国开展航天科技活动的兴趣。在这种情况下，钱学森与郭永怀于1963年3月3日向科学院提交报告《关于“中国科学院十年探空研究规划（草案）”的几点意见》，就发展我国航天科技事业应着手研究的课题、任务分工等问题提出了具体的建议。他们认为，上海机电设计院作为探空研究的技术执行单位，“凡有关运载火箭、探头的结构设计、遥测系统、发射、数据整理等方面的工作都归该院统一负责。”为此，他们建议“由力学所负责的

① 王春河：《从“四人小组”看钱学森对航天工程人才的培养》，《工程研究——跨学科视野中的工程》2010年第4期。

② 樊洪业：《中国科学院编年史（1949—1999）》，上海科技教育出版社1999年版，第128页。

③ 中国科学院新技术局：《星际航行科技资料汇编》，科学出版社1965年版。

④ 转引自王春河：《从“四人小组”看钱学森对航天工程人才的培养》，《工程研究——跨学科视野中的工程》2010年第4期。

壳体结构及强度方面问题应改由机电设计院负责。卫星的结构设计，包括热平衡、姿态控制系统，以及整个卫星的环境试验等是一个整体，不宜分割，也应该由机电设计院负责。科学院各研究所协助机电院解决部分的科学问题。"关于卫星观察和接收站，他们建议"将来整套的卫星观察及接收站固然应该由国防部门建立及管理使用，但在此以前应先建一个试验性质的样板站。"他们建议原子能所负责宇宙射线项目，包括高能粒子的观测等。另外，他们特别提出："为十年后星际航行作准备，必需投入少量人力开展一些探索性的工作，也应作为科学院十年探空规划的一部分"。

其中，他们建议科学院相关的研究所应分工承担如下研究课题：一、属于力学所范围的有超高速冲压式发动机的研究，核火箭传热问题的研究，电磁流体力学的研究，稀薄气体动力学的研究，充气体薄壳结构的研究，高温及超高温气体力学及热力学性质的研究，超临界态物质性质的研究。二、物理所开展高温及超高温气体光谱的研究。三、数学所开展星际航行动力学和控制论的研究。四、半导体所开展日光电池的研究及试制。五、生物物理所开展空间生物学和辐射生物学的研究。六、天文台开展太阳系行星表面条件、流星、小行星的研究。七、电工所开展热能直接发电的研究。光机所、物理所、电子所联合起来研究受激光发射及其应用。半导体所、物理所、计算所共同解决电子计算机的超小型问题。物理所与电子所共同研究利用分子及原子转动运动的陀螺（粒子陀螺）及其他新陀螺原理。生物学部各研究所共同研究密封舱内自给的生态学系统。对于空间医学问题，他们建议"科学院十年探空计划拟应明确要求军事医学科学院在空间医学方面配合进行"。最后，他们认为科学院对这个规划执行所需的人力及投资应有一个估计，以便于国家考虑和决策。①

这份报告无异于钱学森、郭永怀为我国航天尤其是载人航天科技事业提出的发展蓝图和实施方案，其地位与意义堪与1956年2月钱学森向中央呈送的《关于建立我国国防航空工业意见书》比肩。后来，报告中的许多建议得到贯彻和落实，为我国空间技术、载人航天科技事业的发展开展了大量的预先研究，打下了扎实的科学与技术基础。所以，这份报告在中国航天科技发展史上应占有十分重要的地位。

第八节　本章结语

经过"大跃进"之后的全面调整，力学所重新回到技术科学研究机构的定位。

① 钱学森、郭永怀：《关于"中国科学院十年探空研究规划（草案）"的几点意见（1963年3月3日）》，中国科学院档案馆。

根据国家科学技术发展的需要,力学所积极配合型号产品研制部门,以导弹、火箭技术中的力学问题为中心,为国防尖端技术任务研制探路,兼顾应用力学(特别是新兴学科)的基本理论研究。通过全所人员的共同努力,力学所在解决国家战略需求、理论创新、发展新兴学科、人才培养等方面都取得了非常突出的成就,如突破了氢氧火箭发动机、弹头烧蚀防热、爆炸成形等重大关键技术,取得了一批高水平研究成果,并得到了应用;在高速气动力学和气动热的实验与理论研究、激波管、爆炸力学等方面的理论研究上获得了长足进步;新兴学科如物理力学和电磁流体力学,也在钱学森和郭永怀的具体指导下建立起来。此外,还培养和锻炼出一支理论联系实际、坚持自主创新的研究队伍,积累了发展技术科学的宝贵经验。2006 年力学所建所五十周年时,郑哲敏曾对力学所的工作特色与经验做过系统的总结。他认为:第一,力学所始终关心国家发展的需求、注意力学的前沿,不断探索两者结合的道路,主动向国家有关部门提出建议;第二,勇于承担国家任务,做超前的研究工作,并及时把研究成果转移到应用部门;第三,有效地组织科研队伍,把各方面的人才组织起来,把理论研究、实验研究、工程技术人才组织在一起,成立一个有实力、能战斗的队伍;第四,重视实验研究;第五,重视现象的物理分析,最重要的是能够把握事物的本质,认识事物的本质。①一言以蔽之,力学所以技术科学思想为办所方针,结合国家重大需求,开展技术科学研究,取得了许多重要成果,为我国"两弹一星"事业和技术科学发展作出了卓越的贡献,成为一个具有重要影响力的、世界水准的技术科学研究中心。

一般说来,衡量一个科研机构的工作成绩有两个视角,一个是短期业绩,另一个是长期业绩。短期业绩看的是科研成果,长期业绩看的则是支撑业绩背后的制度与文化体系。在科学和工业发达的国家,科学家主要从事理论研究,较少承担工程技术工作。而中国现代工业基础非常薄弱,产业部门常常无法独立解决自身的技术问题,不得不要求科学界投入很多精力来帮助解决。所以,国家通常根据产业部门的需求确定科研任务,然后向科学界下达这些任务。"谁给演奏者付钱,谁就能叫他演奏什么节目",②科学工作必然按照政府所希望的路径发展,也就是政府决定科学工作的内容和发展模式。政府也往往以解决实际问题、满足国家需要作为标准来评价科学界的工作。在完成国家任务的前提下,科学界才能开展学理研究工作。这就是那个时代中国科学技术发展的基本模式。

技术科学工作从生产实际中寻找需要解决的具有普遍性的问题,然后用技术

---

① 郑哲敏:《钱学森的技术科学思想与力学所的建设和发展》,《力学进展》2006 年第 1 期。

② [西德]罗伯特·容克:《比一千个太阳还亮》,何纬译,原子能出版社 1966 年版,第 34 页。

科学方法进行研究，得到规律性知识，这些知识可以用来指导工程开发和设计。这些规律性知识不断增加，形成系统的知识体系，从而促进新学科的形成。换一种说法，就是"以任务带学科"。可见，技术科学的研究路径与计划科学模式具有许多相通之处。所以，钱学森与郭永怀认为力学所必须贯彻"以任务带学科"的原则，结合国家重大任务开展研究工作，这样才能既为国家重大任务解决关键性技术问题，又能带动学科理论的建设。他们根据我国导弹和航天技术发展的需要，结合科学院和国防工业部门的分工和实际情况，决定力学所以"上天"作为主攻目标，开展急需解决的氢氧火箭发动机、气动力及气动热等问题的研究，并鼓励研究人员主动从中寻找符合自身性质和条件的知识生长点作为学科理论的发展方向。实践已经证明，贯彻"以任务带学科"的原则，将主要力量集中在国防优先项目上，既让力学所获得了人力、设备、经费等方面的保障，又带动了学科理论的发展，再运用这些学科理论指导尖端技术实现突破，进而为学科赢得了更大的发展空间。所以，力学所在完成国家重大任务的同时，带动了爆炸力学、高速空气动力学等新兴学科的成长。力学所的工作实践表明，针对国家需求中的工程技术问题，发展和运用新兴学科理论解决这些问题，不但较好地完成了任务，推动尖端技术实现突破，还能丰富学科内涵，甚至建立新的分支学科或交叉学科。

关于任务与学科的关系，历来就有不同的看法，力学所以自己的实践活动开创出新的科研文化理念。对于这种文化理念，吴承康说："开展研究工作主要应该根据需求，可以是国家建设的需要，也可以是科学发展中需要回答的重要学术问题。有时开始做的时候不一定对所要解决的问题很明确，特别是基础研究，但有意义的成果必然是解决重要问题的成果。"①并评价道："力学研究所能在这些领域中做出成绩，就是因为按照钱学森的建所思想，建立和运用高水平的技术科学学科积累，努力承担和解决国家目标中的科学问题，并在工作过程中注意开展规律性、学科性的研究，发展技术科学。"②可以说，力学所承担的国防任务成为力学所重要的保护者，它让研究人员扩大了在各个方面的研究范围，使技术科学理论研究活动得以坚持下来，并在解决事关国运的国防任务过程中不断增加实力，乃至成为著名的研究机构和国之柱石。

中国导弹、火箭技术起步之初，钱学森就向主管国防科研的聂荣臻副总理提出"三步棋"的发展战略，即探索一代、研制一代、装备一代。这种发展战略的关键在

① 吴承康：《有意义的成果必然要解决重要问题》，载李家春主编：《气动热化学——祝贺吴承康院士八十华诞文集》，科学出版社 2009 年版，第 153—157 页。

② 吴承康：《国家目标与技术科学——钱学森的力学研究所建所思想》，载庄逢甘、郑哲敏主编：《钱学森技术科学思想与力学》，国防工业出版社 2001 年版，第 46—52 页。

于，将研发和设计置于中心地位，作为整个国防尖端技术产业活动的龙头。在这个发展战略体系的分工中，力学所承担了突破国防尖端技术的探路性研究工作。力学所建立自己的研究队伍，与型号产品设计部门密切配合，通过探索和实践，较为圆满地完成了为导弹、火箭、卫星等尖端技术探路的任务，帮助这些尖端技术实现了重大突破。从中也可看出，以应用力学为代表的技术科学在中国经历了体制初创、研究起步和学术繁荣等发展阶段，逐渐成长为具有自身话语体系的科学技术体系，能够独立解决经济与国防建设中的重大科学技术问题，促进了中国科技内生创新机制的形成。这也表明，技术科学不是从国外移植而来的残枝断叶，而是具有自身发展基础的科学技术体系，并形成了鲜明特色的发展模式。

力学所的创建和巨大发展，是因为钱学森、郭永怀这样富有战略眼光的领军人物的出色运筹和精心实施，也离不开郑哲敏、林鸿荪、吴承康等年轻学术带头人的辛勤耕耘。钱学森、郭永怀犹如娴熟睿智的舵手，始终从国家利益出发，随时根据变化莫测的政治风浪调整风帆，使力学所在汹涌的波涛中跌宕前行，一路如履薄冰却屡建功勋，可谓居功至伟！他们二人本有发展中国技术科学的一揽子计划，但是这些计划和设想受到"大跃进"、"文革"等政治运动的干扰以及大量临时性任务的挤占，无法按计划付诸实施。对于他们而言，完成国家任务是最大的政治。力学所当初所设分支学科，后来发展极不平衡，有些学科乏善可陈，与原来的设想和目标相去甚远。一个学科能否得到迅速发展，既受学科自身发展规律的影响，又受社会环境的制约。虽然政府一再强调，科学院的研究机构要逐步研究带有根本意义的理论问题，但又须根据国家需要解决产业部门提出来的实际问题，以促进经济与国防建设的发展。所以，注重直接的应用价值，将科学的潜在价值置于从属地位，是管理者的普遍习惯。从力学所的工作方向变化过程和结果来看，与经济、国防建设关系密切的研究领域较易得到人力和物质保障。这些研究领域围绕所承担的国家任务，从解决具体问题起步，逐渐总结经验，进而上升到学理研究的高度，建立了一些新兴学科。而一些在短期内无法为国家任务作出贡献的学科，难以获得支持，成为"弱势学科"，发展举步维艰，有些甚至被取消了。这种"偏科"结构是由中国科技体制和发展模式决定的，不是一两个学术带头人凭借个人之力能够改变的。

第十章 余 论

中国属于科学后发国家,现代科学技术基本上是从西方科学发达国家移植而来,并在此基础上逐步发展起来的。一种科学被引进、介绍到国内,并建立完整系统的学科体制,技术科学无疑是最为典型的成功案例之一。在中国技术科学建制化过程中,钱学森扮演着推动技术科学发展的战略擘划者角色,堪称技术科学界的"精神领袖"。他创造性地将技术科学思想与国家需求结合起来,使发展技术科学成为国家的意志。在国家体制的支持和推动下,技术科学在比较短的时间里就建立起完整而富有特色的教研体系,成为中国科学技术体系的重要部分。通过有针对性的研发活动,技术科学与国家的政治体制、国防建设与经济建设紧密地结合在一起,让技术科学的各项功能得到了充分发挥,深深扎根于经济发展、国防建设等事关国计民生的领域,促进了中国科技内生创新机制的形成,为我国科技整体水平的提升作出了不可估量的贡献,在中国现代科学技术史上谱写出浓墨重彩的篇章。

60 多年来,中国科学技术事业取得了突飞猛进的发展,对国民经济和国防建设产生了巨大的推动作用。但是,科学技术在现代中国的发展与风云激荡的时代环境牢牢地捆绑在一起,绝非一帆风顺,而是充满曲折与坎坷。技术科学更是如此,因为它必须比理论科学更为密切地结合社会需求。所以,技术科学在中国建立和发展的历程为我们深入认识和理解科学技术与社会的互动关系提供了一个典型案例。在完成前述历史叙事之后,笔者不禁想到这样几个问题:在门类众多的科学技术部门中,以应用力学为代表的技术科学为何能在中国迅速建立和发展起来,成为国家科学技术体系的重要组成部分,并对国家和社会产生深远影响?技术科学在当代又具有什么样的价值?如此等等。

第一节　技术科学符合辩证唯物主义原则

科学作为一种社会建制出现以后，它就不是孤立的东西，在运行过程中会受到政治、经济、文化等社会因素的影响。在实行集中式管理体制的社会主义国家，科学受社会因素影响的程度更深，因为它把在意识形态、思想方法等方面的建设也列为科学工作的重要内容。在社会主义国家，往往要求科学家将辩证唯物主义及其关于科学的基本观点作为科学工作的指导思想，要求科学家自觉地运用辩证唯物论对科学中的某些发展方向或理论问题进行研究，闯出一条社会主义科学的发展道路，以更好地为社会主义建设服务。那么，辩证唯物主义对科学持什么样的观点呢？

辩证唯物论把实践提到第一的地位，认为人的认识一点也不能离开实践。它强调理论对于实践的依赖关系，理论的基础是实践，又反过来为实践服务。只有用实践对理论进行最初和最后的检验，才能得到客观真理。所以，科学理论必须与生产实践结合，只有应用于生产实践才能检验其正确性，而检验的标准也只能是生产实践。假如科学理论不与生产实践联系起来，就会变成空洞的理论，失去发展的动力和目的。同样，科学在发展的动力上也与实践密切相联，如恩格斯在考察自然科学发展史时说："科学的发生和发展一开始就是由生产决定的"。"以前人们夸说的只是生产应归功于科学的那些事；但科学应归功于生产的事却多得无限。"①另外，1894 年 1 月 25 日他在致瓦·博尔吉乌斯的信中也指出："如果像您所断言的，技术在很大程度上依赖于科学状况，那么科学却在更大的程度上依赖于技术的状况和需要。社会一旦有技术上的需要，则这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进。"②此后，所有马克思主义者在科学发展动力的认识上都与此一脉相承。在他们看来，科学的发生和发展，一开始就是由社会生产决定的，社会经济和生产实践是推动科学前进的主要原动力。反过来，通过生产实践发现的科学规律又在进一步发展生产力方面起到积极的作用。科学史上，确实有许多生动的例子说明生产实践与客观自然现象的观察抽象为系统的理论知识，而科学规律的发现与运用，又指出新的发展方向，开辟新的生产领域。

不过，有些重大发现和学科在某一阶段的发展，主要是通过包括自然现象观察

---

① 《马克思恩格斯全集》(第 20 卷)，人民出版社 1971 年版，第 523、524 页。

② 《马克思恩格斯全集》(第 39 卷)，人民出版社 1971 年版，第 198 页。

在内的科学实验，而不是源于生产发展的直接需要，即源于科学内部矛盾的逻辑发展和抽象思维的范畴，其主要目的也不是为了解决生产领域的问题。通观科学进化史，科学的发展有这样理论与实践相互依存、相互促进的规律及特点。科学发轫之初，发展的动力来自它的外部或客观实际的需要。当科学一旦形成基本的概念和方法，不再需要外部需求的刺激，单凭解决科学内部矛盾这一需求的推动，或单凭抽象的科学思维也可以向前推进，而且所得到的结论还能成功地接受后来实践的检验，充分显示出科学的巨大威力。正如希尔伯特所说的那样："在每个数学分支中，那些最初、最老的问题肯定是起源于经验，是由外部的现象世界所提出"。但是，"随着一门数学分支的进一步发展，人类的智力受着成功的鼓舞，开始意识到自己的独立性。它自身独立地发展着，通常不受来自外部的明显影响，而只是借助于逻辑组合、一般化、特殊化，巧妙地对概念进行分析和综合，提出新的富有成果的问题，因而它自己就以一个真正提问者的身份出现。"①所以，对于科学发展的动力而言，外部需要和内部矛盾是比翼齐飞的双翼，都是不可或缺的。

尽管如此，辩证唯物论坚持认为，生产需求刺激科学发展，反过来科学又推动生产发展。于是，科学工作必须贯彻理论联系实际的方针，研究对象来源于生产，研究结果也服务于生产，成为第一个社会主义国家苏联科学工作的指导思想。如1958年科学院郭沫若院长在访苏科技代表团总结报告中说："苏联科学界充满着理论结合实际的风气，无论是基础科学还是应用科学的研究大都有明确的目的性，为国民经济建设或者国防建设服务。不仅研究技术的人要注意经济问题，研究理论的人也要注意实现这些理论的技术和经济问题。不仅工程师们对经济建设和国防建设上的一些问题非常熟悉，科学研究机构的科学家和高等学校的教授们对于有关厂矿的各种情况，如生产指标等，也大都非常熟悉。'为科学而科学'的研究作风在苏联是被认为不光荣的，经常受到批判。我们的科学家和教授们熟悉生产情况的人是比较少的，研究基础科学的人在这方面的缺点特别突出。我们大家都认为在这一方面应该认真地补课。"②新中国仿效苏联，也把辩证唯物论作为科学工作的指导思想，在思想文化与科学界开展了思想改造运动，清理、批判和改造以往旧的世界观，确立了辩证唯物论在科学工作中的指导地位。中共认为，科学研究只有与生产实际结合起来，才能体现辩证唯物主义的思想方法；科学研究只有同社会需要紧密结合，才会具有强大的生命力；科学工作者在科学工作中以辩证唯物论为指导，让自己的研究工作与生产实际密切联系，才能摆脱为理论而理论的学院式风

① [德]希尔伯特：《数学问题》，李文林、袁向东编译，大连理工大学出版社2009年版，第41页。

② 郭沫若：《加强中苏科学合作为促进科学事业的大跃进而战斗》，《科学通报》1958年第7期。

气，使自己免受资本主义、个人主义和唯心主义的影响，才能体现科学为生产建设服务、为人民服务、为社会主义服务的原则。例如，在十二年科学规划中强调指出："我国的科学研究干部固然都是自觉地为社会主义建设事业服务的，可是我们还要更进一步把马克思列宁主义的思想更密切地结合到自己的科学研究工作中去，以期树立起正确的世界观。这样就会更深刻地认识到自己进行科学理论研究的目的和意义。"①在这种制度环境下，所有的科学工作首先必须接受意识形态这把政治标尺的丈量，合格者才能获得政治上的许可证。因此，如何让自己研究的学问在思想方法上符合辩证唯物论，成为各门学科领军人物无法回避的问题，也是一次命运攸关的考验和挑战。

作为学科领军人物，钱学森多次在不同场合从不同角度证明技术科学的工作方法与辩证唯物论是一致的。1955 年 11 月，刚刚归国的钱学森在科学院组织的一次报告会上做报告，主题是用辩证唯物论指导科研工作。他说："我在美国从事科研工作 20 多年，从科研工作中不断积累和认真总结出来的经验和科研方法，自感是行之有效的一套方法。回国后学习了有关辩证唯物论和历史唯物论方面的著作及毛主席的《实践论》和《矛盾论》，才恍然大悟，感到自己总结出来的那套科研方法，在马克思、恩格斯和毛主席的著作中都已阐述得很清楚了"。②这里与其说是介绍研究方法，不如说是做政治表态。紧接着，钱学森在另一篇文章中论证技术科学方法论与辩证唯物论具有共通性。他说，技术科学"是同生产有密切关系的学问，一件技术科学研究的成功或失败，完全要看它在生产上起不起作用，能不能改进生产方法；所以技术科学工作者是比较容易克服唯心的、不合实际情况的倾向的。但是技术科学又和工程技术不同，它也要有理论的依据，要有烦复的数学分析，所以它又不是全部靠经验的学科。因此，在技术科学的研究里，最重要的一件事是怎样把理论和实际结合起来；而其中最困难的是：结合理论和实际这一个工作并不只是自然科学的规律和理论应用到实际问题上去。"在技术科学研究实际中，"我们把理论和实际要灵活地结合，不能刻板行事。我想这个灵活地结合理论与实际也就是辩证唯物主义的真髓了。因此，我以为世界上第一流的技术科学家都是自发的辩证唯物论者"。"而有了辩证唯物论我们也可以把它用到技术科学的研究上去，提高研究的效率，少走弯路。"另外，他认为技术科学的工作方法有些并非严密的科学方法，对它进行研究可以丰富唯物主义辩证法。他说："工程师们常常运用的经验

① 《国家科学规划委员会关于 1956—1967 年国家重要科学技术任务说明书第 56 项（现代自然科学中若干基本科学理论问题的研究）》，上海市档案馆，案卷号：A52-2-798。

② 刘振兴：《钱学森先生与我国的空间科学和应用》，载宋健主编：《钱学森科学贡献暨学术思想研讨会论文集》，中国科学技术出版社 2001 年版，第 245—248 页。

方法，联想方法，或者简直是猜想方法”。“这些工程师们常用的工作方法是很有效的。也可以说越是好的工程师，他就越会运用这些方法，运用这些方法来解决看来很复杂、不能够用‘死板的科学方法’来解决的实际问题。”“这些方法是在形式逻辑之外的，对这些方法的研究就一定能够丰富自然辩证法。”①

在钱学森看来，技术科学的工作方法与辩证唯物论是一致的，完全符合辩证唯物主义认识论，主张用辩证唯物论来提高技术科学工作的效率，用其研究结果来丰富和发展唯物主义辩证法。事实上，德国是辩证唯物论的故乡，技术科学的兴起与19世纪后半叶辩证唯物论有一定的联系。所以，钱学森认为：“优秀的力学工作者不但要有广泛丰富的学识，而且要能掌握辩证唯物主义的观点；因为只有掌握了辩证唯物主义，才能真正灵活地把理论同实际结合起来。所以我们可以说，所有在资本主义国家中的第一流力学家都是自发的辩证论者，只不过他们运用辩证法不可避免地局限于他们的专业业务工作。这样看来，这门古老而又年青的学科只有在社会主义的社会中才能得到它发扬滋长的环境。”②无独有偶，关于技术科学工作方法与辩证唯物论的关系，冶金专家叶渚沛亦作如是观，他说：“技术科学是如此密切而直接地与生产中的当前的问题联系着，理论与实践间需要不断地相互调整，因之就使得易于受到资产阶级观念形态侵蚀的抽象理论没有容身之所。”③另外，技术科学不是为理论而理论，而是理论联系实际的科学，直接为工程技术实际服务的学问。它是从实际出发寻找研究对象，研究结果也是从研究实践中抽绎出来，不是从哲学概念推演而来，即“一定以实验结果和工程经验为出发点，挑选的题目也根据这精神”。不仅如此，钱学森等力学家还将这条原则写入十二年科学规划，要求“力学工作者既要了解工程技术的观点和其中的实际问题，也要求除了力学本门知识外还要了解一些基本科学的知识和严密的论证方法。这也就是说，力学工作者必须把理论和实践紧密地结合起来，这就要求力学工作者掌握辩证唯物主义的观点和方法。”④

总之，技术科学在运用已有理论解决生产实际问题的过程中丰富理论、提高理论，在新的更高的理论基础上再来指导实践，不断前进，这完全符合辩证唯物主义认识论对科学的基本判断。所以，技术科学的工作方法是辩证唯物论在科研工作中的具体应用，技术科学工作者能够自觉运用辩证唯物论，抵制资产阶级唯心论，并持续不断地为辩证唯物论提供科学上的证据，从而捍卫它的哲学地位和科学地

---

① 钱学森：《技术科学中的方法论问题》，《自然辩证法研究通讯》1957年第1期。

② 钱学森：《一门古老而又年青的学科》，《人民日报》1956年6月11日。

③ 叶渚沛：《科学与社会——科学将向何处去？》，《科学通报》1957年第1期。

④ 《国家科学规划委员会关于1956—1967年基础科学学科规划》，上海市档案馆，案卷号：A52-2-742。

位。在意识形态标准第一的年代，这个特征让技术科学获得了政治上的“通行证”，比较顺利地获得了体制的认同和接纳。

现在看来，辩证唯物论的产生有其历史的必然性，在当时的背景下，它对克服唯心主义的弊端产生了积极作用。不过，它对某些问题的片面理解也是不可取的，比如过分强调理论与实践的统一，过分强调应用而忽略纯理论性的工作。又如夸大了生产对科学的推动作用，过分信赖生产对科学推动的经验，将相对真理绝对化。后来，在这个方向上继续发展，越来越相信生产推动第一，乃至形成“以任务带学科”的原则。

新中国开国之初，许多学科的学术带头人曾有在西方一流教研机构学习或研究的经历，具备很高的科学素养和学术水准，他们提出的研究方向和课题也是西方同行正在做的。所以，新中国的科技事业在起步阶段的许多学术思想并不比西方落后多少。后来，由于科研指导思想片面强调理论结合实际，致使理论研究的广度和深度受到严重限制，所选择的研究课题逐渐落后于世界科学界，即使有所贡献也大多不是世界科学发展的主流方向。另外，当时中国工农业生产的发展水平比较低，从理论联系实际角度出发选择的应用性科学课题自然落后于西方，研究成果的学术水平也必然落后于人。只是在一些与西方差不多同时起步的新兴技术科学领域，才取得了一些与西方同行比肩的成就。因此，片面狭隘的科研指导思想是制约中国在基础科学和技术科学领域取得更大成就的思想桎梏，今天应该是努力突破这个局限的时候了。

第二节　技术科学适合中国社会的迫切需要

除了合乎主流意识形态的政治标准外，技术科学比较适合中国社会的现实需要。

首先，技术科学直接服务于工程技术的应用功能与中国文化追求学以致用的价值取向取得了一致。中国传统文化的经世致用思想强调“学以致用”，重应用，轻理论。这种文化基因一直遗传下来，直接影响人们对待科学技术的态度，如近代科学引入中国之后，首先得到重视的就是应用性知识。辩证唯物论认为，科学研究应该从实践中提炼出理论，反过来应用于实践，理论与实践相互促进，发展理论的目的是为了指导实践。在这个角度上说，中国文化注重致用的观念与理论联系实际的思想具有一定的共通性。这种价值观念把理论作为工具看待，应用理论达到理论之外的目的，不相信理论具有本身的独立价值。中共以辩证唯物论为指导思想，

力求理论和实践结合，由此衍生出科学必须为生产服务的指导方针，强调发展科学技术为国家建设和社会需要服务。①所以，科学工作主管部门也要求科技人员应用科学知识解决生产中的实际问题，并在解决问题中提高和发展理论。技术科学的研究对象来源于工程技术实践，研究结果服务于工程技术，恰好符合这种价值标准。因此，整个社会注重实用的价值取向及其对科学价值的基本判断，使技术科学这类具有应用价值的科学理论获得了快速发展的机会，这也是中国科技创新活动的基本特点。

其次，适合中国国情和社会需要。现代科学技术的范围非常广泛，而当时中国科学和工业基础都非常薄弱，发展科技事业的人力、物力也非常有限，所以在一定时期内必须有所为有所不为，政府必然要求科学界围绕与国民经济、国防建设关系比较紧密的领域开展研究工作。究其原因：一是中国缺乏科学传统，科学基础薄弱，如果重点支持基础科学，一时难以取得成效；二是基础科学与实际应用的距离比较远，从理论的提出到在生产中发挥作用需要经历比较长的时间和一系列中间环节，一时难以取得社会的认同和支持。而技术科学既是科学理论，又直接与生产紧密结合，并且走在生产的前面，为发展新的生产方向探索路径，或将已有的理论知识提高到更高的阶段，目的也是服务于生产。其效果立竿见影，比较容易得到社会的认同和支持。三是技术科学在某一领域的理论突破往往会带动整个行业的突飞猛进，对国计民生的贡献非常显著。所以，直接为工程技术服务的技术科学比较适合中国这样的科学后发国家，被纳入发展重点的技术科学部门往往能在比较短的时间内以较快的速度发展，并带动相关学科发展，进而促进科技与工业水平的整体提升。

技术科学在中国的建设和发展，一部分属于成熟内容的移植和本土化，在此基础上培育本国科学人才，另一部分则属于原创性工作，创造具有自主知识产权的新知识。技术科学的发展动力主要来自社会需求，必须结合中国实际，从具体的工程技术实际中吸收经验，建立具有中国元素的理论知识。所以，技术科学的发展水平取决于社会对它的需求程度。由于条件有限，新中国不得不优先发展与国家核心利益密切相关的领域，集中优质资源解决那些最为根本的、最为迫切的技术问题。这就要求科技人员以社会和国家的需要作为主要工作方向。1954 年，钱学森给即将离美归国的郑哲敏饯行，与他谈到回国后的工作问题时，叮嘱他说："只要是国家需要的都可以做而且应该做。"②回国后，为了争取国家和社会的支持，钱学森四处传播技术科学，介绍它对国家和社会的重要价值。最终，他促成技术科学与国家需求达

---

① 杨丽凡：《发展科技的指导思想：从延安时期到建国初期》，《自然科学史研究》2002 年第 1 期。

② 郑哲敏：《钱学森老师对我的教诲》，《神州学人》1991 年第 1 期。

成了一致，使技术科学在国家的大力支持下取得了突飞猛进的发展。

再次，国防建设和经济建设为技术科学发展提供了动力。科学和科学家的社会地位因研究领域或所属行政系统不同，相差甚大。力学等技术科学与近代工业的发展关联非常密切，没有现代工业就没有技术科学。随着新中国大规模建设的展开，产生了对技术科学的庞大需求。技术科学对于国防建设、工农业生产发展的重要价值，尤其是它与国防建设的密切关系，连带提升了它的社会地位。以至于，发展技术科学成为国家重要的政治任务，这为它在中国的建制化打开了方便之门，被当作发展工农业、服务国计民生的重要筹码。所以，它在短期内就得到了国家优质资源的支持，尤其是“两弹一星”工程的强烈需求，使其成为贯彻“以任务带学科”原则的典范。可见，国家与社会的迫切需要是技术科学在中国发展的重要动力，也是它与其他学科命运的根本区别所在。

然而，当国家的现实需求成为科学发展的主要动力以及科学研究的目的时，科学工作便陷入不均衡状态，一些领域可以取得超常规的发展，另一些领域却举步维艰。总体上看，技术科学在中国的发展相当迅速，但比较各个分支学科的发展规模与成绩，可以清楚地看出：围绕直接或间接解决国防建设与经济建设中重大问题的研究所取得的应用成果，远远多于一般性理论成果。这表明，技术科学与国防、生产等社会实际利益有着密切的互动关系。不过，以国家需求作为研究工作的导向，短期内往往成绩比较显著，长期来看，却不能为科学持续发展提供坚实可靠的基础。

第三节　技术科学适应计划科学体制

科学只有适应其所处的社会，并与其他社会事业形成良性的互动关系，才能成为有生命力的事业。新中国成立后，所有的科学资源都被纳入国家体制之内，对科学事业采取集中管理的体制。根据生产发展的需要，同时以科学发展的必要性为基础，有计划地发展科学事业，成为新中国科学工作的指导方针。在计划科学体制下，科学的实用性得到前所未有的强化，发展科学，服务生产，成为政治目标，政府把发展科学事业当作政治任务来推进。并且，科学活动属于国有性质，研究任务由政府采用计划手段依靠行政指令下达，要求科学部门完成，强调工作的集体性，科技人员没有自由选题的权利和自由。适应这种计划体制要求的科学领域，国家就会将优质资源集中到这些领域，这些科学领域借助体制的力量快速完成建制化进程。这种发展科学的体制的最大长处就是目标较为明确，但国家控制并配置所有

的科学资源，表面上可以“早出成果、快出成果”，却从根本上破坏了平等竞争、自由研究的精神，其后果无疑是饮鸩止渴。

通过基础研究发现基本原理，在此基础上开发应用技术，然后通过工程化研制设计出产品，是近代科学技术发展的一般模式。基础研究属于自由探索，目的在于增加关于自然的知识，没有明确的应用目标，是无法加以计划的。如V.布什说：“由于纯科学无法预测的性质，使得为其研究提供一种颇为特殊的环境是合于需要的。纯科学需要其研究人员思想的自由，以新的观点来看熟悉的事实。纯科学研究始终不宜于被组织计划，并且它对于来自上述组织计划的指令是麻木的。事实上，对于有重要意义的成就来说，再也没有比自由的原则更加重要的了。”①因此，基础研究活动不能适应计划科学的体制性要求。社会主义国家的科学工作模式是由产业部门提出研究任务，科学机构结合这些任务开展研究，研究结果供产业部门使用。这使科学研究围绕生产任务的需要，研究目标比较明确，各种资源被集中配置，计划体制的优势得到充分体现，在一定程度上避免了以学科为导向的研究工作进展缓慢、成果的应用价值不明确以及与经济建设结合不紧密等缺点。而且，根据国民经济发展的总体要求，产业部门提出的研究任务往往比较明确，与此相关的理论问题研究也是可以有计划地予以安排。这种体制使科学活动有效地计划起来，形成了从生产中提出问题，针对问题开发应用技术的发展路径。在这种体制下，必须是与生产结合较为紧密的科学研究，才会得到体制的重视和支持。很显然，技术科学依据工程技术当前或未来的需要确定研究课题，具有相对明确的应用前景，并且可以有计划地发展，比较适应计划科学的体制性要求。

科学家无法避免社会因素的影响，即使最伟大的理论科学家也是社会的成员。因为科学界毕竟是一种公民的团体，必须服从整个社会的统一意志。在高度集中化的国家，政府几乎是科学资源的唯一拥有者和分配者，离开政府，所有的研究工作都将寸步难行，所以无条件地贯彻国家意志是科学存在的唯一理由，放弃自主性是科学生存的基本前提。②为了适应计划科学体制，科技人员必须围绕国家任务开展工作，让研究活动密切配合工农业生产和国防建设，这就是“以任务带学科”的原则。为何社会主义国家普遍采取“以任务带学科”的原则呢？笔者认为：其一，在科学工作指导思想上深受辩证唯物主义关于科学发展的动力来自于生产的观点的影响。其二，这一原则既可以贯彻理论联系实际的方针，又能体现实践是知识的唯一源泉，还是检验真理的标准。其三，有利于与计划科学体制相配合，发挥集中统一

① ［美］V.布什等：《科学——没有止境的前沿》，范岱年、解道华等译，商务印书馆2004年版，第157页。
② 李真真：《1956：在计划经济体制下科技体制模式的定位》，《自然辩证法通讯》1995年第6期。

管理模式的优点，将科学资源组织起来围绕国家任务开展研究，集中力量打“歼灭战”。从这里也可以看出，社会主义国家科学工作的最大特点是它的功利性，具体表现为要求科技人员为满足生产需要而工作，重视研究结果的实用价值，以能否提高生产效率与质量作为科学工作成绩的评价标准，而理论性成果则是作为解决生产需要过程中的副产品。另一方面，新中国对内须要迅速发展国民经济，对外须要应付外敌入侵的威胁。所以，对于科学有一种在短期内就希望其展示实用价值的强迫性要求，政府最感兴趣的是将科学资源最大限度地用于国家目标的实现，增加经济实力和军事力量，对间接结合实际的理论研究和探索性理论工作虽也从学科角度加以安排，但实际上的重视程度远远不及应用性学科，更不鼓励“为科学而研究科学”的理念。有理由相信，当时许多科学家十分清楚计划科学体制的弊端，但在学科生存的压力面前，只能削足适履，在适应计划体制和追求学术自由之间“两害相权取其轻”。

当时，“以任务带学科”的原则被视为贯彻理论联系实际方针的好办法而得到大力提倡。赞同“以任务带学科”者认为，从任务或实际需要中提出问题，为科学发展提供了不竭的源泉，通过解决这些问题，可以有力地推动科学发展，甚至取得别开生面的成就。而主张“以学科促任务”者强调，科学有其自身的发展规律，只有充分发展理论，才能完美地、高水平地解决由生产实际提出的种种任务，如果离开扎实的学科积累，应用任务将会寸步难行。“以任务带学科”的原则虽有合理性，但其弊端也十分明显。因为，科学发展的动力，一为外部推动，主要是社会需要；二为内部驱动，主要是学科自身的逻辑发展。在常规科学时期，主要来自外部推动和刺激，而在科学革命时期，学科自身的逻辑发展往往会起到更大的作用。如果坚持认为科学研究的选题必须来自生产实际才能对社会有用，才能推动科学发展，研究对象就被限制在生产需要的范围以内，超出直接生产经验的东西也就是抽象、深奥的问题就不能作为研究对象，这就使科学研究的范围和内容大为缩窄，降低了原创性成果产生的可能性。在实际工作中，还常常出现把实际理解为生产实际的庸俗化解释，导致只有紧密结合生产实际的课题才能作为研究对象，不允许将从长远角度服务生产的理论问题作为研究对象，而在大部分时间里实践是落后于理论的，这必然导致理论研究的范围与层次受到严重限制。况且，任务的完成往往有时间限制，所以科技人员无法将更多的精力用来探索理论，只能将已有的理论知识用于具体任务的解决，致使难以产生原创性理论成果。这样一来，中国科学被纳入一个较为封闭的体系，科研成果的评价标准注重实际的应用效果，即在于它在多大程度上解决了生产和社会的需要，而非学理上的意义。

在这个封闭系统里，任何科学必须结合国家需求，为国防建设和经济建设解决

实际问题。技术科学既符合理论联系实际的方针，又符合“以任务带学科”的原则，所以很快就取得了体制的认同和接受。当时，以“两弹一星”为中心的国防尖端技术任务不断向技术科学提出大量新的要求，从而带动技术科学迅速发展。反过来，技术科学的研究成果不断为国防尖端技术任务服务，提升了工业技术和国防建设水平，进一步强化了“以任务带学科”的发展模式。然而，基础科学没有这样的环境与条件，因为基础研究大多表现为个体性的思维活动，往往被批判为“资产阶级的自由主义”、“成名成家的个人主义”，这让研究人员的工作热情和创造力受到严重抑制，甚至无法选择纯理论性的课题作为研究对象，只能循规蹈矩、按部就班地按照国家下达的计划去完成任务。所以，政府主导的以应用为导向的计划科学体制，带动的往往是技术科学性质的研究工作，对基础科学促进不大。在基本原理比较清楚的情况下，社会主义国家具有集中科学资源，把已有的研究成果集成起来，举办大型工程性研究项目的出色能力，在这一点上它比分散型科学体制有着明显的优越性。

综上所述，技术科学既合乎意识形态的要求，又适应计划科学体制，还能体现“以任务带学科”的原则，所以它能在中国迅速建立和发展，并取得突出的成绩。由此可见，在集权制度下，符合以下要求的学科才能得到优先发展的必要特权和资源：第一，研究方法符合理论联系实际的方针，即研究的对象或问题来源于生产实际，研究结果服务于生产。第二，研究结果有利于军事或经济实力的提升，即具有应用背景的研究课题才会受到重视，得到支持。第三，适应计划科学体制，其发展进程能够加以计划。技术科学在中国建立和发展的历程为这种科学发展模式提供了一斑窥豹的注脚。中国选择支持发展技术科学，是由社会需要与科学体制决定的。在移植现代科学技术并与中国社会结合，带动中国科技整体水平大幅提升的进程中，技术科学堪称成功的典范。

技术科学在中国取得突出的成绩，既是科学的胜利，也是计划科学体制的胜利。但是，利用集权体制推动科学建设和发展，具有一定的阶段性。它比较适合后进国家的科学起步阶段，当科学技术体系奠定之后，必然会产生突破这种体制束缚的内在要求。高度集权的发展模式虽对中国科学的发展发挥过十分积极的作用，但其弊端也日益凸显，成为科学进一步发展的体制性障碍。这是因为，集中式科学体制急功近利思想十分明显，将科学工作当作政绩工程，倾向于支持应用科学尤其是具体型号产品的研制，不愿意支持风险较大、不确定因素较多的探索性研究活动，给予基础科学的发展空间非常有限，最终造成理论科学枯竭、原始创新乏善可陈。

第四节　技术科学的当代价值

希尔伯特说过，“每个时代都有它自己的问题，这些问题后来或者得以解决，或者因为无所裨益而被抛到一边并代之以新的问题”。①技术科学形成和发展的历程再次映证了这句名言。工程与科学结合的思想由克莱因率先提出来，经过几代应用力学家的接力传递，以应用力学为代表的技术科学逐渐发展和成熟起来。在此基础上，钱学森对这一原创性思想予以丰富和拓展，将其发展成为严格的思想体系。牛顿“站在巨人的肩膀上”完成了对近代科学的一次大综合，钱学森对技术科学思想的总结和发展亦是如此。如今，技术科学思想已给世界工程技术乃至人类社会带来了翻天覆地的变化，充分展现出技术科学的巨大魅力。在工程技术高度发达的今天，或许有人会问：技术科学还有价值吗？答案是肯定的。这是因为，一种知识的重要性是用它所提供的对自然界的新洞察力的程度，以及它可以产生的造福人类福利的程度来衡量的。②

首先，技术科学研究方法是重要的科学方法。法国数学家拉普拉斯说过，“认识一位巨人的研究方法，对于科学的进步……并不比发现本身更少用处。科学研究的方法经常是极富兴趣的部分”。③技术科学工作是一种高度复杂、极富创造性的认识活动，它将数学、力学、物理学和化学整合起来，应用于工程技术领域具有共性的问题的研究，为世人提供了一种新的科学方法。这种方法综合基础科学和工程技术二者研究方法的长处和优点，重新塑造出科学家和工程师对研究对象的看法。而且，技术科学从多种角度观察科学技术的结构，把科学的内部研究与外部研究结合起来，提出了一种新的科学观。近几十年来世界科学技术巨大发展的事实还表明，技术科学研究方法已经超出技术科学本身的范畴，它着眼于科学整体，为科学研究提供了一种富有创造性的思想方法。

近代科学建立以来，大多数理论科学家信奉科学应该具备“美”的哲学，也就是科学中的“数学特性”被看作是与简单性原理相一致的。根据简单性原理，自然界的基本规律是简单的。他们认为，简单性不仅是有用的探索向导，而且是整个科学大厦都应该服从的目标。按照这种观念，对自然界的数学描述就是自然界实际构

① ［德］希尔伯特：《数学问题》，李文林、袁向东编译，大连理工大学出版社 2009 年版，第 37 页。

② 转引自［美］丹尼斯·布莱恩：《居里一家——一部科学上最具争议家族的传记》，王祖哲、钱思进译，湖南科学技术出版社 2011 年版，第 182 页。

③ 李心灿：《微积分的创立者及其先驱》（第三版），高等教育出版社 2007 年版，第 198—203 页。

造的反映。如牛顿在著名的《自然哲学的数学原理》一书中写道："对自然事物的原因的承认，不应比那些真实并足以解释它们的现象的为多。"他解释道："自然绝不为无用之事，且在较少即成时，多则无用。因为自然是简单(simplex)的且不沉迷于过多的原因。"①这种科学之美，可以用纯粹数学方法来认知。于是，他们致力于用数学形式表示自然界，以数学美作为向导，重视理论的一般性、普遍性和完备性、严密性的特征，不能容忍近似值。不过，有一些受过技术科学训练的科学家十分重视在理论工作中引入技术科学的研究方法。例如，物理学家狄拉克由于接受过工程教育，使他对数学严密性持宽松态度，他说："在我看来[大约在1918年的]，如果谁要是用近似法来工作，那么在他的工作中就有着不可容忍的丑陋。我非常想保持数学美。然而，我接受的工程教育教我容忍近似值，我还能看到甚至以近似法为基础的理论中有时也会有相当多的美。……我想，如果我没有接受过这种工程教育，在我后来从事的工作上就必定不会取得任何成果；因为实际上必须摆脱这种观点，即认为只应当处理那些从人们已经接受的、并且被当作绝对可信的、已知的严格定律中逻辑地推导出来的结果"。②1965年，他再次忠告物理学家不要太关注严密性，而要沿着一个更谦虚的途径，"用一个合理的，实用逻辑标准来建立理论，就像工程师工作的方式那样。"

现代科学已经证明，追求数学美不能用于普遍的自然现象，因为实际的自然现象要复杂得多。也就是说，简单性的要求和美的要求，与自然界的复杂现象常常会产生矛盾和冲突。所以，许多非常美的科学理论公式与注重实效的工程是比较疏远的，不能直接用来解释工程技术中出现的复杂问题，更不能直接用于指导工程设计。例如，按照牛顿力学原理就无法解释飞机起飞的现象。既然自然界是高度复杂的，注重抽象、追求理论上完美的理论科学不可能反映客观世界的全部，所以理论科学的研究方法并不是万能的，在许多问题上会束手无策。技术科学研究方法正好弥补了理论科学研究方法的这种不足。因此，作为一种科学思想与方法，技术科学是不会过时的。比如，当代的许多重大科学技术问题就是通过走技术科学之路解决的，技术科学研究方法成为解决这些问题最为有效的途径，所以技术科学思想与方法在当代的指导意义比以往任何时代都要突出。

其次，技术科学是现代高新技术的先导。技术科学是一种动态的思想方法，它将最新的基础科学发现与工程应用结合起来，创造出工程技术理论。所以，它的基本精神是为工程技术的发展提供新原理、新概念、新目标、新途径、新方法、新技术

---

① [英]牛顿：《自然哲学的数学原理》，赵振江译，商务印书馆2006年版，第476页。

② [丹]赫尔奇·克劳：《狄拉克：科学和人生》，肖明、龙芸、刘丹译，湖南科技出版社2009年版，第209页。

等系统的理论基础和基础技术，从而促进和带动高新技术和新兴产业的建立和发展。比如，二次大战后，航天、核能、信息、生命、纳米等领域的应用科学理论突飞猛进，汇成一股巨大的洪流，将人类社会带入第三次产业革命时代。

一般来说，发明创造或创新可以分为两种，一种是原创型创新，另一种是非原创型创新，也可称为改进型或综合型创新，即把别人已经做出来的东西加以改进或引入新的应用领域，或把别人已经做出来的多种成果加以综合应用。原子弹、计算机、半导体、激光、集成电路、人工合成材料、基因、克隆等原理的发现及其最早在实际中的应用，就属于原创型创新。同样，莱特兄弟发明的飞机是原创型的，后来喷气式飞机的出现，也是原创型的。原创型创新非常重要，却是极不容易的。令人惊讶的是，这些原创型创新或新兴技术都是源于基础科学与工程技术的创造性结合，这种结合就是技术科学的研究内容。事实表明，技术科学的建立和发展加速了基础科学成果向生产技术的转化，缩短了科学理论转化为生产技术的时间。基础科学与工程应用之间具有比较大的距离，不能直接用来指导生产，必须通过技术科学这个桥梁才能实现。关于这一点，以往的许多论述是不准确的，它们把科学向生产的转化简单地说成科学发展趋势日益技术化，这种认识要求基础科学研究注意应用需求，导致许多基础科学研究人员将注意力转向技术开发，造成智力上的巨大浪费。实际上，这种观点笼统地将科学与生产联系日益加强的趋势理解为科学与生产的一体化，没有认识到基础科学和工程技术之间还存在技术科学这个中间层次，正是通过它们才将科学理论转化为工程技术。总之，技术科学的诞生加速了科学——技术——生产的一体化进程，形成了科学、技术和生产迅速转化的“科学—工业综合体”，促进了现代高新技术产业的兴起、发展和繁荣。

这里需要厘清的是，技术科学与应用科学不尽相同。应用科学虽然也是将基础科学成果应用到工程技术，但它是单向的。技术科学兼顾学理和应用两个方面，既利用基础科学成果，又结合工程技术实际。一方面，技术科学与工程技术是无法分离的，如鸟之两翼，二者之间形成了良性的互动关系。不过，技术科学与实际工程技术部门是有分工的，技术科学不局限于解决实际部门提出的具体技术问题，而是着眼于从特殊上升到一般，概括出带有普遍性的工程理论，反过来带动工程技术的发展。另一方面，技术科学还能促进人们对基础科学的重视，从而刺激基础科学的发展。

另外，研究技术科学本身不是目的，而是发展与开拓新的技术的一种“手段”。技术科学根据社会需要，在工程实际中选择具有重大应用背景的理论问题作为研究对象，深入研究其中的规律，建立新的工程理论或创造新的技术，为工程技术发展开辟新的途径，引导未来工程技术的发展。近代科学技术发展史表明，技术科学

内容越丰富，引导工程技术发展的能力也就越强。所以，技术科学在当代高新技术产业中仍然扮演着先导角色。由于工程技术领域中的新问题不断涌现，技术科学也必然方兴未艾，永葆活力。

最后，技术科学是自主创新的重要源泉。基础科学虽是现代高新技术的源泉，但基础科学能否成为现实技术或先进生产力，主要取决于技术科学的支持。在现代科学技术体系中，技术科学具有承上启下的作用，现代工程技术的发展越来越依靠技术科学的支撑，技术科学已成为现代工业发展水平的重要标志。所以，提高技术原始创新的最佳突破口应放在现代高新技术的先导——技术科学上面。即使引进外国先进技术，消化吸收和改进提高也取决于技术科学的发展水平。历史上技术引进比较成功的国家的发展经验表明，引进技术的同时必须配备足够的研究力量和技术设计力量，对关键技术进行充分消化吸收，知其“所以然”后，才能较好地根据本国条件和需要加以改进和提高。如果缺乏技术科学的支撑，只能拾人牙慧，模仿或“山寨”别人的技术，无法形成自主创新能力，最终导致产业空洞化。而一个缺乏自主创新能力的国家，工业规模无论怎么扩展，都算不上真正的工业强国。诚如郑哲敏所言：“搞科研要‘产学研’相结合，关键是要有自主性，要有自己的想法。若以‘产’为主，科学跟着工业屁股后面转，照着人家的东西生产，那创新就没有了。”这个评论言简意赅，入木三分。超前和创新正是技术科学的基本特点，技术科学对提高自主创新能力的作用非常突出，没有技术科学的发展就无法取得自主创新的新技术和新工艺。因此，技术科学应在产学研体系中居于中心地位，必须重点发展技术科学，进行预先研究，建立技术储备，为新工业的成长开辟道路，这是后进国家赶超先进工业国家的不二法门。

60多年来，技术科学思想经受了时间与历史的检验，历久弥新，仍然闪耀着科学的光芒。技术科学是为经济建设、国防建设以及社会发展服务的，这种服务不是单纯地解决工程技术领域提出的技术问题，而是致力于创造性地推动工程技术的发展，同时带动基础科学的成长。对此，郑哲敏解释说，技术科学是科学，不是工程技术的“尾巴”。它建立在基础科学最新成就的基础上，不断吸纳数学科学以及其他各种自然科学的最新进展，为工程技术创造新的方法、新的途径和新的领域。另外，工程技术的要求往往是多方面、综合性的，因此要注意技术科学的多学科性质和跨学科性质。不过，技术科学并不能代替工程技术，工程技术自己能够解决的问题不需要技术科学来解决，如果把两者混同起来，那技术科学就没有真正尽到自己的责任。[①]总而言之，技术科学思想对我国当前的创新型国家建设仍具有重要的指导意义。

---

① 郑哲敏：《钱学森的技术科学思想与力学所的建设和发展》，《力学进展》2006年第1期。

主要参考文献

(一) 编著、回忆录

(1) 顾吉环、李明、涂元季编:《钱学森文集》(1—6 卷),国防工业出版社 2012 年版。

(2) 李佩主编:《钱学森文集》(1938—1956 海外学术文献,中文版),上海交通大学出版社 2011 年版。

(3) 钱学森:《工程控制论》,科学出版社 1958 年版。

(4) 钱学森:《物理力学讲义》,科学出版社 1962 年版。

(5) 钱学森:《星际航行概论》,科学出版社 1963 年版。

(6) 钱学森:《导弹概论》,中国宇航出版社 2006 年版。

(7) 钱学森:《水动力学讲义手稿》,上海交通大学出版社 2007 年版。

(8) 凌福根编:《钱学森论火箭导弹和航空航天》,科学出版社 2011 年版。

(9) 郭永怀:《郭永怀文集》,科学出版社 1982 年版。

(10) 郭永怀:《郭永怀文集》,科学出版社 2009 年版。

(11) 钱伟长:《钱伟长文选》,上海大学出版社 2004 年版。

(12) 周培源:《周培源文集》,北京大学出版社 2002 年版。

(13) 郑哲敏:《郑哲敏文集》,科学出版社 2004 年版。

(14) 张维等著:《谈技术科学》,知识出版社 1986 年版。

(15) 竺可桢:《竺可桢全集》,上海科技教育出版社 2008 年版。

(16) [美]张纯如(Iris Chang):《中国导弹之父钱学森之谜》,张定绮、许耀云译,台湾天下文化出版股份有限公司 1996 年版。

(17) 王元:《华罗庚》,开明出版社 1994 年版。

(18) 王谷岩:《贝时璋传》,科学出版社 2010 年版。

(19) 聂荣臻传编写组:《聂荣臻传》,当代中国出版社 1994 年版。

(20) 聂荣臻:《聂荣臻科技文选》,国防工业出版社 1999 年版。

(21) 聂荣臻:《聂荣臻元帅回忆录》,解放军出版社 2005 年版。

(22) 张劲夫:《张劲夫文选》,中国财政经济出版社 2000 年版。

(23) 刘源张:《感恩录——我的质量生涯》,科学出版社 2011 年版。

(24) 刘源张:《运筹学在纺织工业中的应用》,科学出版社 1960 年版。

(25) 周华章等:《运筹学在建筑工业中的应用》,建筑工程出版社 1959 年版。

(26) 中国科学院力学所运筹学组:《一门崭新的科学——运筹学》,科学普及出版社 1958 年版。

(27)《高能成形》编写小组:《高能成形》,国防工业出版社 1969 年版。

(28) 郑哲敏、杨振声等:《爆炸加工》,国防工业出版社 1981 年版。

(29) 郭永怀:《边界层理论讲义》,中国科学技术大学出版社 2008 年版。

(30) 庄逢甘、郑哲敏主编:《钱学森技术科学思想与力学》,国防工业出版社 2001 年版。

(31) 宋健主编:《钱学森科学贡献暨学术思想研讨会论文集》,中国科学技术出版社 2001 年版。

(32) 张维等著:《清华大学工程力学与工程热物理学术会议论文集》,清华大学出版社 1988 年版。

(33) 张维、符松、章光华、任文敏编译:《普朗特纪念报告译文集——一部哥廷根学派的力学发展史》,清华大学出版社 2013 年版。

(34) [美]冯·卡门、比奥:《工程中的数学方法》,高庆琳等译,科学出版社 1959 年版。

(35) [美]冯·卡门:《空气动力学的发展》,江可宗译,科学技术出版社 1958 年版。

(36) [美]冯·卡门、李·爱特生:《冯·卡门——航空与航天时代的科学奇才》,曹开成译,上海科学技术出版社 1991 年版。

(37) [美]V.布什等:《科学——没有止境的前沿》,范岱年、解道华等译,商务印书馆 2004 年版。

(38) [德]希尔伯特:《数学问题》,李文林、袁向东编译,大连理工大学出版社 2009 年版。

(39) [美]康斯坦丝·瑞德:《希尔伯特——数学世界的亚历山大》,袁向东、李文林译,上海科学技术出版社 2006 年版。

(40) [美]S.P.铁木生可:《材料力学史》,常振檝译,上海科学技术出版社

1961 年版。

(41) [英]O.A.拜格:《当代世界领先的工程科学大师们》,康振黄译,四川科学技术出版社 2008 年版。

(42) [西德]罗伯特・容克:《比一千个太阳还亮》,何纬译,原子能出版社 1966 年版。

(43) [德]马克斯・玻恩:《我的一生(马克斯・玻恩自述)》,陆浩等译,东方出版中心 1998 年版。

(44) [美]罗伯特・H.卡巩:《罗伯特・密立根的足迹》,方在庆译,东方出版中心 1998 年版。

(45) [美]托马斯・库恩:《科学革命的结构》,金吾伦、胡新和译,北京大学出版社 2003 年版。

(46) [美]托马斯・库恩:《必要的张力——科学的传统和变革文选》,范岱年、纪树立译,北京大学出版社 2004 年版。

(47) [美]T.A.赫彭海默:《倒计时——航天器的历史》,朱卫国、向小丽译,上海科学技术出版社 2006 年版。

(48) [苏]米哈依尔・阿・克罗契科:《一位苏联科学家在中国》,A.麦克安德鲁英译,赵宝骅中译,湖南教育出版社 2010 年版。

(49) [美]丹尼斯・布莱恩:《居里一家》,王祖哲、钱思进译,湖南科学技术出版社 2011 年版。

(50) [美]R.K.默顿:《科学社会学》(下),鲁旭东、林聚任译,商务印书馆 2003 年版。

(51) [英]牛顿:《自然哲学的数学原理》,赵振江译,商务印书馆 2006 年版。

(52) [丹]赫尔奇・克劳:《狄拉克:科学和人生》,肖明、龙芸、刘丹译,湖南科技出版社 2009 年版。

(53) [英]罗素:《西方哲学史》(下),马原德译,商务印书馆 1976 年版。

(54)《马克思恩格斯全集》(第 20, 26, 39 卷),人民出版社 1971 年版。

(55) 中共中央党史研究室:《中国共产党历史》(第二卷),中共党史出版社 2011 年版。

(56)《交通大学校史》编写组:《交通大学校史》,上海教育出版社 1986 年版。

(57) 武衡、杨浚:《当代中国的科学技术事业》,当代中国出版社 1991 年版。

(58) 武衡:《科技战线五十年》,科学技术文献出版社 1992 年版。

(59) 钱临照、谷羽:《中国科学院》,当代中国出版社 1994 年版。

(60) 樊洪业:《中国科学院编年史(1949—1999)》,上海科技教育出版社 1999 年版。

（61）王扬宗、曹效业：《中国科学院院属单位简史》（第一卷，上册），科学出版社 2010 年版。

（62）国防科学技术工业委员会：《中国航天 50 年回顾》，北京航空航天大学出版社 2007 年版。

（63）《回顾与展望》编辑委员会：《回顾与展望——新中国的国防科技工业（1949—1989）》，国防工业出版社 1989 年版。

（64）《当代中国的航天事业》编辑委员会：《当代中国的航天事业》，中国社会科学院出版社 1986 年版。

（65）中国力学学会：《中国力学学科史》，中国科学技术出版社 2012 年版。

（66）科学时报社编：《请历史记住他们——中国科学家与"两弹一星"》，暨南大学出版社 1999 年版。

（67）路甬祥：《向科学进军——一段不能忘怀的历史》，科学出版社 2009 年版。

（68）薛攀皋：《科苑前尘往事》，科学出版社 2011 年版。

（69）李心灿、黄汉平：《数坛英豪》，科学普及出版社 1989 年版。

（70）李心灿：《微积分的创立者及其先驱》（第三版），高等教育出版社 2007 年版。

（71）陈燮君：《学科学导论——学科发展理论探索》，上海三联书店 1991 年版。

（72）许康、劳汉生：《中国管理科学历程》，河北科学技术出版社 2000 年版。

（73）武际可：《近代力学在我国的传播和发展》，高等教育出版社 2005 年版。

（74）武际可：《力学史》，上海辞书出版社 2010 年版。

（75）刘珺珺：《科学社会学》，上海科技教育出版社 2009 年版。

（76）张瑜编著：《钱学森与中国科学技术大学力学系火箭小组》，中国科学技术大学出版社 2008 年版。

（77）张柏春等：《苏联技术向中国的转移》，山东教育出版社 2004 年版。

（78）阎康年：《科学革命与卡文迪什实验室》，山西教育出版社 2008 年版。

（79）施雅风：《施雅风口述自传》，湖南教育出版社 2009 年版。

（80）胡亚东、郑哲敏、严陆光等口述：《中关村科学城的兴起（1953—1966）》，湖南教育出版社 2009 年版。

（81）韩存志主编：《院士回忆录》（第 3 卷），上海科技教育出版社 2006 年版。

（82）李佩：《朴素　坦诚　真挚——忆学森与永怀的友谊》，《神州学人》1990 年第 6 期。

（83）郑哲敏：《钱学森老师对我的教诲》，《神州学人》1991 年第 1 期。

（84）何鼓生：《回顾在怀柔试验基地的十年》，http://lxyd.imech.ac.cn/info/detail.asp?infono=13797。

(85) 钱学森:《图书馆与钱学森》,《校友之声》1997 年第 1 期。

(二) 论文

(1) 钱学森:《气船与飞机之比较及气船将来发展之途径》,《航空杂志》1935 年第 1 期。

(2) 钱学森:《火箭》,《浙江青年》1935 年第 9 期。

(3) 钱学森:《音乐和音乐的内容》,《浙江青年》1935 年第 2 期。

(4) 钱学森:《怎样研究工程科学和研究些什么?》,《工程界》1947 年第 12 期。

(5) 钱学森:《一门古老而又年青的学科》,《人民日报》1956 年 6 月 11 日。

(6) 钱学森:《航空技术的展望》,《科学通报》1956 年第 6 期。

(7) 钱学森:《技术科学中的方法论问题》,《自然辩证法研究通讯》1957 年第 1 期。

(8) 钱学森:《论技术科学》,《科学通报》1957 年第 4 期。

(9) 钱学森:《物理力学介绍》,《物理通报》1957 年第 4 期。

(10) 钱学森:《中国科学技术大学里的基础课》,《人民日报》1959 年 5 月 26 日。

(11) 钱学森:《近代力学的内容和任务》,《人民日报》1961 年 11 月 10 日。

(12) 钱学森:《现代力学——在 1978 年全国力学规划会议上的发言》,《力学与实践》1979 年第 1 期。

(13) 钱伟长:《当前我国力学工作者的任务——在第一次全国力学学术报告会上的讲话(摘要)》,《光明日报》1957 年 2 月 9 日。

(14) 钱伟长:《高等工业学校的培养目标问题》,《人民日报》1957 年 1 月 31 日。

(15) 周培源:《中国近三十年来之理论物理》,《科学》1950 年第 4 期。

(16) 周培源:《力学是和国家建设有密切联系的科学》,《光明日报》1954 年 7 月 22 日。

(17) 周培源:《谈谈对力学的认识和几个关系问题》,《力学与实践》1979 年第 1 期。

(18) 吴仲华:《大力加强技术科学研究工作》,《红旗》1978 年第 4 期。

(19) 郑哲敏:《谈谈应用力学》,《力学与实践》1995 年第 1 期。

(20) 郑哲敏:《关于技术科学与技术科学思想的几点思考》,《中国科学院院刊》2001 年第 2 期。

(21) 郑哲敏:《钱学森的技术科学思想与力学所的建设和发展》,《力学进展》2006 年第 1 期。

(22) 郑哲敏:《钱学森的科学精神》,《21 世纪经济报道》2009 年 11 月 3 日。

(23) 华罗庚:《对苏联数学研究工作的认识》,载中国科学院秘书处:《学习苏联先进科学——中国科学院访苏代表团报告汇刊》,1954 年。

(24) 何祚庥:《钱学森教授与发展科学技术的十二年规划》,《院史资料与研究》1992 年第 3 期。

(25) 裘维裕:《科学思想的训练,应当是科学的一种使命》,《交大季刊》1933 年第 1 期。

(26) 聂荣臻:《努力开创我国科技工作的新局面》,《红旗》1982 年第 24 期。

(27) 刘振坤:《在科学院辉煌的背后——张劲夫访谈录》,《百年潮》1999 年第 6 期。

(28) 刘振坤:《春风秋雨二十年——杜润生访谈录》,《百年潮》1999 年第 6 期。

(29) 王元、王绶琯、郑哲敏:《中国科学院数学、天文学和力学四十年》,《中国科学院院刊》1989 年第 4 期。

(30) 林鸿荪:《记第一次全国力学学术报告会》,《力学学报》1957 年第 2 期。

(31) 叶渚沛:《化工冶金所方向任务》,《化工冶金》1981 年第 3 期。

(32) 许国志:《运用学中的一些问题》,《科学通报》1956 年第 5 期。

(33) 叶渚沛:《科学与社会——科学将向何处去?》,《科学通报》1957 年第 1 期。

(34) 朱兆祥:《钱学森先生在力学所初建的日子里》,《力学进展》2006 年第 1 期。

(35) MARBLE Frank:《力学研究所成立五十周年感言》,王克仁译,《力学进展》2006 年第 1 期。

(36) 洪友士:《力学研究所五十年》,《力学进展》2006 年第 1 期。

(37) 赵南:《工程和科学》,《申报》1947 年 8 月 18 日。

(38) 威廉·R.西尔斯等:《GALCIT 的卡门年代》,郑哲敏译,《力学与实践》1979 年第 4 期。

(39) 袁向东、李文林:《哥廷根的数学传统》,《自然科学史研究》1982 年第 4 期。

(40) 李成智:《郭永怀——中国卓越的力学家》,《自然辩证法通讯》1988 年第 5 期。

(41) [苏]B.B.戈鲁别夫:《伟大十月社会主义革命前及苏维埃时期力学在莫斯科大学的发展》,吴鸿庆、吴望一译,《力学学报》1957 年第 4 期。

(42) 鲁道夫·沈克(Rudolf Schenck):《理工的结合和公共事业》,李仲珩译,载北平中德学会:《五十年来的德国学术》,商务印书馆 1938 年版。

(43) 朱森元:《氢氧火箭发动机在中国如何走向工程应用》,《兵器知识》2010 年第 1 期。

(44) 李真真:《1956:在计划经济体制下科技体制模式的定位》,《自然辩证法通讯》1995 年第 6 期。

(45) 杨丽凡:《发展科技的指导思想:从延安时期到建国初期》,《自然科学史

研究》2002 年第 1 期。

(46) 陈怡芳:《钱学森的考卷》,《上海交大报》1980 年 7 月 5 日。

(47) 王卉、张巧玲、潘希:《从物理力学起落看钱学森学术思想》,《科学时报》2009 年 11 月 12 日。

(48) 王春河:《从"四人小组"看钱学森对航天工程人才的培养》,《工程研究——跨学科视野中的工程》2010 年第 4 期。

(49) 樊蔚勋:《解读"钱学森之问"——从培养杰出科学技术发明创造人才谈起》,《南京航空航天大学学报(社会科学版)》2011 年第 1 期。

(50) 姜玉平:《钱学森在交大时期对航空与火箭的探索》,载《钱学森研究》,上海交通大学出版社 2007 年版。

(三) 学位论文

(1) 张志辉:《"科学大跃进"初探》,中国科学技术大学博士学位论文,2007 年。

(2) 杨丫男:《中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作(1956—1966 年)》,中国科学技术大学硕士学位论文,2009 年。

(四) 资料选编、纪念文集、工具书

(1) 涂元季主编:《钱学森书信》(1—10 卷),国防工业出版社 2007 年版。

(2) 涂元季、顾吉环、李明编:《钱学森书信补篇》(1—5 卷),国防工业出版社 2012 年版。

(3) 钱学森办公室:《钱学森年表》,未刊稿。

(4) 钱学森:《钱学森手稿》,山西教育出版社 2001 年版。

(5) 中国科学院院士工作局编:《钱学森先生诞辰 100 周年纪念文集》,科学出版社 2012 年版。

(6) 李家春、樊菁主编:《钱学森——在创建力学所的日子里》,科学出版社 2011 年版。

(7) 黄宗煊主编:《钱学森——中国爱国知识分子的杰出典范》,清华大学出版社 2011 年版。

(8) 郑哲敏主编:《郭永怀先生诞辰九十周年纪念文集》,气象出版社 1999 年版。

(9) 中国科学院力学研究所,中国力学学会:《郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集》,2009 年 4 月。

(10) 李和娣主编:《固体力学进展及应用——庆贺李敏华院士 90 华诞文集》,科学出版社 2007 年版。

(11) 李家春主编:《气动热化学——祝贺吴承康院士八十华诞文集》,科学出版社 2009 年版。

（12）姚振汉、王勖成、岑章志主编：《力学与工程——杜庆华院士八十寿辰庆贺文集》，清华大学出版社 1999 年版。

（13）庄逢甘主编：《纪念陆士嘉教授学术报告会论文集》，航空工业出版社 1991 年版。

（14）《科学家传记大辞典》编辑组：《中国现代科学家传记》（第一集），科学出版社 1991 年版。

（15）《科学家传记大辞典》编辑组：《中国现代科学家传记》（第三集），科学出版社 1992 年版。

（16）中国科学技术协会：《中国科学技术专家传略》（工程技术编，力学卷 1），中国科学技术出版社 1993 年版。

（17）中国科学技术协会：《中国科学技术专家传略》（工程技术编，力学卷 2），福建教育出版社 1997 年版。

（18）侯建国主编：《钱学森"火箭技术概论"手稿及讲义》，中国科学技术大学出版社 2008 年版。

（19）侯建国主编：《钱学森与中国科学技术大学》，中国科学技术大学出版社 2008 年版。

（20）清华大学航天航空学院编辑组：《固本求源创新　顶天立地树人——清华大学工程力学系发展历程》，清华大学出版社 2011 年版。

（21）赵炳时、胡绍学主编：《清华大学工程力学系成立暨工程力学研究班创办五十周年庆贺文集（1958—2008）》，中国建筑工业出版社 2008 年版。

（22）中国力学学会：《中国力学学会五十年》，2007 年版。

（23）中国科学院自然科学跃进成果展览会办公室：《中国科学院自然科学跃进成果展览会简介（内部资料）》，1958 年 10 月。

（24）中国科学院新技术局：《星际航行科技资料汇编》，科学出版社 1965 年版。

（25）中国科学院计算技术研究所：《中国科学院计算技术研究所三十年（1956—1986）》，1986 年。

（26）《交通大学校史》撰写组编：《交通大学校史资料选编》（第二卷，1927—1949），西安交通大学出版社 1986 年版。

（27）中共中央文献研究室：《建国以来重要文献选编》（5），中央文献出版社 1993 年版。

（28）中共中央文献研究室：《建国以来重要文献选编》（8），中央文献出版社 1994 年版。

（29）中共中央文献研究室：《建国以来重要文献选编》（10），中央文献出版社

1994 年版。

(30) 中共中央文献研究室:《建国以来重要文献选编》(17),中央文献出版社 1997 年版。

(31)《中国大百科全书(力学卷)》,中国大百科全书出版社 1985 年版。

(五) 档案

(1) 中国科学院档案馆档案

(2) 上海市档案馆档案

(3) 中央档案馆档案

(4) 上海交通大学钱学森图书馆档案

(5) 上海交通大学档案馆档案

(6) 西安交通大学档案馆档案

(7) 清华大学档案馆档案

(六) 报纸、期刊

(1) 人民日报

(2) 光明日报

(3) 文汇报

(4) 科学时报

(5) 科学通报

(6) 力学学报

(7) 力学与实践

(8) 力学进展

(9) 中国科学院年报(1955, 1956, 1958, 1959)

(七) 英文文献

(1) Hsue—Shen Tsien. Engineering and Engineering Sciences. 王寿云编:钱学森文集(*Collected Works of H.S.Tsien*, 1938—*1956*),科学出版社 1991 年版。

(2) Hugh L.Dryden. Theodore von Karman, *Biographical Memoir of the National Academy of Sciences*, Washington D.C. 1965.

(3) Theodore Von Kármán, Edson Lee. *The Wind and Beyond*: *Theodore von Kármán*, *Pioneer in Aviation and Pathfinder in Space*, Little, Brown And Company, Boston. Toronto. 1967.

(4) H.Glauert. *The Elements of Aerofoil and Airscrew Theory*(*2nd Edition*), Cambridge University Press, 1948.

(5) Tsien H.S.Rockets and Other Thermal Jets using Nuclear Energy, *The*

Science and Engineering of Nuclear Power. Volume II, Chapter 11, Cambridge, Addison-wesley. 1949. 177—195.

(6) William R. Sears and Mabel R. Sears. "The Karman Years at GalCit", *Annual Review Fluid Mechanics*, 1979, (11):1—10.

(7) K. Oswatitsch, K. Wieghardt. Ludwig Prandtl and His KAISER-WILHELM-INSTITUT, *Annual Review Fluid Mechanics*, 1987, (19):1—25.

(8) Carlo Ferrari. Recalling the Vth Volta Congress: High Speeds in Aviation, *Annual Review Fluid Mechanics*, 1996, (28):1—9.

后　记

2003年7月我来到交大工作，恰逢学校着手筹建钱学森图书馆，借此机缘参与了这项工作，成为最早参与钱学森图书馆筹建工作的人员之一。随着筹建工作逐步向前推进，我与钱学森先生的秘书涂元季将军、顾吉环老师、李明老师以及钱学森先生的哲嗣钱永刚老师交往日渐增多，对钱学森的认识也渐渐深入。在一次席间言谈中，钱永刚老师建议我研究钱学森学术思想发展史。其时，我也觉得应该利用这个难得的机会和条件做一些与钱学森有关的研究，于是决定朝着这个方向努力去尝试一下。

随着对钱学森了解的加深，我越发认识到钱学森是一位伟大的技术科学家，他的学术思想最为精彩的部分是其博大精深的技术科学思想，也是钱学森与一般的科学家、工程师的根本区别所在。正因为此，钱学森虽没有担任过我国任何一种导弹、火箭或航天器的总设计师，却对许多重大项目的规划、实施和研发成功作出了特有的贡献。除此之外，钱学森还是一位具有远见卓识的科学技术事业组织者和领路人，属于从整体上推进中国现代科学技术事业振兴的战略科学家。基于这样的认识，我选择技术科学思想作为研究钱学森的突破口，希望把作为技术科学家的钱学森清晰地展示在人们面前，然后逐渐拓展，让人们更为准确深入地认识钱学森，而不是停留在许许多多的“奇闻轶事”和“导弹之父”这类比较抽象的荣誉称号层面。然而，目前国内外在这方面的研究并不乐观，特别是在研究资料方面受到诸多限制，使我们难以在短期内写出一本全面客观地研究钱学森技术科学思想的著作。经过大量的文献与口述资料搜集、整理以及对钱学森学术思想脉络的深入发掘和精心梳理，我于2010年4月动手写作《钱学森与技术科学》这本书。

本书在资料收集、写作和修改过程中，我采访过屠守锷(“东五”洲际导弹总设计师)、梁守槃(海防导弹总设计师)、王永志(中国载人航天工程首任总设计师)、孙

家栋（“东方红”人造卫星总设计师）、刘居英（哈尔滨军事工程学院第二任院长）、刘纪原（中国航天工业总公司原总经理）、何友声（上海交通大学原党委书记）、朱英富（航母“辽宁舰”总设计师）、戴汝为、龙乐豪、谈庆明、于景元、赵少奎、钱学敏、鲍克明、陈敬熊、胡聿贤、陈俊亮等数十位不同领域的领导、专家和学者。他们从不同角度给我提供了许多关于钱学森的历史信息，这对本书中一些想法的形成助益甚大。其间，中国航天科技集团老干部局原局长陈大亚先生为我们的访谈工作做了大量的幕后工作，他对访谈工作提供的无私帮助令我永远难忘。本书的部分内容还多次在交大夏季小学期的本科生选修课程“交通大学历史与文化”中向学生讲授过。经过 3 年多断断续续的研究、写作和修改，书稿在 2013 年 5 月基本完成。随后，笔者拜访了年届九旬的 2012 年度国家最高科学技术奖得主、钱学森的高足郑哲敏先生。郑先生不仅对书稿提出了宝贵的修改意见，还欣然同意为本书作序，实令本书增色不少。

李建强、盛懿、陈华新等诸位馆长对本书的研究和写作给予了不少鼓励和便利。在写作和修改过程中，我还经常向科学史与科学文化研究院的关增建、董煜宇、王延锋以及钱学森图书馆的张凯、史贵全等老师请益切磋。尤若、吕成冬两位老师帮我校核了许多重要文献资料。上海人民出版社的鲍静为本书出版付出了很大的辛劳，还提出了不少修改意见。在此，笔者对他们一并表示衷心的感谢。另外，本书征引了许多现有的研究成果，并使用了中国科学院档案馆、上海市档案馆、钱学森图书馆等机构收藏的档案，如果没有这些研究成果与文献资料，本书的写作恐怕一时难以完竣，在此对这些文献的作者、整理者和提供者表示衷心的感谢。最后，还要特别感谢钱学森研究中心为本书提供了出版资助。

囿于笔者的研究能力和资料限制，本书在研究的广度和深度上尚有许多不足之处，而且跨越中外大半个世纪的沧桑，涉及大量人名、地名、机构名称、专业科技名词等，若有漏误及不妥之处，烦请读者见谅并不吝指正，以期日后及时更正。

姜玉平

2014 年 1 月 18 日

[General Information]
书名=钱学森与技术科学
作者=姜玉平著
SS号=13733359
出版日期=2015